

ANALYSE DU CYCLE DE
VIE
PURÉE D'AÇAÏ SURGELÉE
NOSSA

TABLE DES MATIERES

01. INTRODUCTION ET OBJECTIFS.....	4
Catégories d'impact évaluées.....	4
Applications de l'étude.....	4
02. CHAMP DE L'ÉTUDE.....	6
02.1 DÉFINITION DES FRONTIÈRES DU SYSTEME ÉTUDIÉ	6
02.2 DESCRIPTION DES PRODUITS ANALYSÉS.....	7
Références 106 et 163 (produits 1 et 2) - Produits industriels :	7
Références 120 et 143 (produits 3 et 4) - Produits restauration :	7
Références 131 et 187 (produits 5 et 6) - Produits magasins bio :	7
Référence 118 (produit 7) - Produit industriel :	8
02.3 LIMITES GÉOGRAPHIQUES ET TEMPORELLES.....	8
02.4 MÉTHODES D'ALLOCATION	8
Allocation pour les transformations successives	9
03. INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE (ICV)	10
03.1 QUANTIFICATION DES FLUX ENTRANTS ET SORTANTS.....	10
03.1.1 MATIERES PREMIERES PRINCIPALES.....	10
03.1.2 EMBALLAGES.....	10
03.1.3 CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES POUR LA TRANSFORMATION	11
03.1.4 TRANSPORT ET STOCKAGE.....	12
03.2 FACTEURS D'ÉMISSION ET HYPOTHÈSES DE CALCUL	13
03.2.1 FACTEURS D'ÉMISSION MULTICRITÈRES DES MATÉRIAUX ET INTRANTS.....	13
03.2.2 FACTEURS D'ÉMISSION MULTICRITÈRES DES TRANSPORTS	14
03.2.3 HYPOTHÈSES ET MÉTHODES DE CALCUL MULTICRITÈRES	15
03.2.4 EXCLUSIONS ET LIMITES DE L'INVENTAIRE.....	16
4. ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	18
04.1 CHOIX DES CATÉGORIES D'IMPACT	18
04.2 MÉTHODE DE CARACTÉRISATION	18
04.3 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....	19
04.3.1 RÉSULTATS GLOBAUX MULTICRITÈRES	19
04.3.2 ANALYSE PAR CATÉGORIE D'IMPACT	21
04.3.3 ANALYSE PAR ÉTAPE DU CYCLE DE VIE	26
04.4 ANALYSE DES RÉSULTATS.....	35
04.4.1 COMPARAISON MULTICRITÈRE DES PAIRES DE PRODUITS	35
04.4.2 CLASSEMENT MULTICRITÈRE GLOBAL	36
04.4.3 CORRÉLATIONS ENTRE CATÉGORIES D'IMPACT	37
04.4.4 POINTS CLÉS MULTICRITÈRES	37
05. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....	39
05.1 ANALYSE DES RÉSULTATS OBTENUS	39
5.1.1 SYNTHÈSE COMPARATIVE MULTICRITÈRE DES PAIRES DE PRODUITS	39
5.1.2 ANALYSE MULTICRITÈRE DES TENDANCES.....	40
5.1.3 COHÉRENCE MULTICRITÈRE DES RÉSULTATS	41
05.2 IDENTIFICATION MULTICRITÈRE DES POINTS CHAUDS ENVIRONNEMENTAUX.....	41
05.2.1 POINTS CHAUDS MAJEURS PAR CATÉGORIE D'IMPACT.....	41
05.2.2 HIÉRARCHISATION MULTICRITÈRE DES ENJEUX	42

05.3_DISCUSSION DES LIMITES DE L'ÉTUDE MULTICRITÈRE.....	43
05.3.1_LIMITES MÉTHODOLOGIQUES MULTICRITÈRES.....	43
5.3.2 LIMITES SPÉCIFIQUES DES DONNÉES MULTICRITÈRES.....	43
05.3.3_LIMITES DE REPRÉSENTATIVITÉ MULTICRITÈRE.....	44
Recommandations pour la réduction des incertitudes multicritères.....	45
06. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	46
06.1_SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS MULTICRITÈRES	46
Hiérarchisation multicritère des performances.....	46
Enseignements clés multicritères.....	46
Points chauds environnementaux par catégorie.....	46
06.2_ENJEUX COMPLÉMENTAIRES : USAGE DES SOLS ET CARBONE AMONT	47
Caractérisation des systèmes agroforestiers d'acaï.....	47
Stocks de carbone mesurés par système.....	47
Calcul de l'impact changement d'affectation des sols.....	48
Implications stratégiques pour la filière.....	49
06.7_CONCLUSION GÉNÉRALE	49
Potentiel d'amélioration multicritère démontré.....	50
Vision stratégique intégrée.....	50
Intégration des enjeux temporels et spatiaux.....	50
Innovation et recherche futures.....	51
Recommandation stratégique finale	51

ANALYSE DE CYCLE DE VIE – PURÉE D'ACAÏ NOSSA

RAPPORT MÉTHODOLOGIQUE ET RÉSULTATS

01. INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Cette étude est basée sur la méthodologie de l'analyse du cycle de vie (ACV) **multicritère**, conformément aux normes **ISO 14040 et ISO 14044**. Elle a été initiée volontairement par l'entreprise. Son objectif est de **quantifier l'empreinte environnementale complète** de six références de purées d'acaï surgelées selon **six catégories d'impact environnemental**. Ces produits sont issus de baies collectées en cueillette sauvage au Brésil.

L'évaluation environnementale s'appuie sur des données collectées en 2023. Les résultats seront valides pour les deux prochaines années, les conditions de production étant stables sur cette période. Cette démarche s'inscrit dans une volonté de transparence environnementale pour **évaluer les performances environnementales globales** de ces produits.

Catégories d'impact évaluées

Cette ACV multicritère couvre les catégories d'impact suivantes, conformément à la méthode Environmental Footprint (EF) 3.1 :

1. Changement climatique - exprimé en kg équivalent CO₂
2. Acidification - exprimé en mol équivalent H⁺
3. Appauvrissement de la couche d'ozone - exprimé en kg équivalent CFC-11
4. Consommation d'eau - exprimé en m³ équivalent (privation mondiale)
5. Eutrophisation des eaux douces - exprimé en kg équivalent P
6. Eutrophisation des sols - exprimé en kg équivalent N

Applications de l'étude

L'application principale de cette ACV est la **comparaison multicritère** des produits par paires ou groupes fonctionnels. Elle permettra notamment de comparer :

- Des références destinées à des usages similaires (produits 1-2, 3-4, et 5-6)
- Des références servant de base à la fabrication d'autres produits (références 163 et 118, utilisées pour produire les références 143 et 187)

Cette analyse orientera les choix de production vers les références les plus pertinentes d'un point de vue environnemental global, en considérant l'ensemble des impacts évalués et non plus seulement l'empreinte carbone.

02. CHAMP DE L'ÉTUDE

02.1 DÉFINITION DES FRONTIÈRES DU SYSTEME ÉTUDIÉ



L'étude couvre l'ensemble du cycle de vie des produits, de la cueillette des baies d'acaiï jusqu'à la fin de vie des emballages, à l'exception de la phase d'utilisation.

La cueillette étant sauvage, sans intervention humaine sur la croissance des palmiers, cette phase est considérée comme neutre en carbone, similaire à la vanille sauvage.

Le système inclut :

- Le transport des baies jusqu'à l'usine de transformation au Brésil
- La transformation des baies en purée (incluant la consommation électrique pour la transformation, l'emballage et la surgélation)
- Le transport frigorifique par camion jusqu'au port brésilien
- Le transport maritime en conteneur frigorifique du Brésil jusqu'au Havre
- Le stockage en entrepôt frigorifique
- La distribution vers les grossistes ou entrepôts des chaînes de magasins
- La transformation et le repacking pour certaines références
- La fin de vie des emballages

Sont explicitement exclus du système :

- Le transport des matériaux d'emballage
- Les encres utilisées sur les emballages
- Les trajets entre grossistes et clients finaux
- Les trajets entre entrepôts et magasins
- Les trajets entre magasins et consommateurs
- La phase d'utilisation par les consommateurs

Concernant la valorisation des noyaux d'acaï par combustion, celle-ci est considérée comme neutre en carbone. En effet, la combustion de cette biomasse s'inscrit dans un cycle carbone court où le CO₂ émis correspond exactement au carbone préalablement capté par photosynthèse lors de la croissance du palmier. Cette approche est cohérente avec les méthodologies standard de bilan carbone pour la biomasse produite et brûlée dans la même année.

02.2_DESCRIPTION DES PRODUITS ANALYSÉS

L'étude porte sur **18 variantes de produits** regroupées en **six références principales**, analysées selon leurs destinations logistiques spécifiques. Ces variantes permettent une évaluation complète des impacts selon les circuits de distribution.

Références 106 et 163 (produits 1 et 2) – Produits industriels :

- Purée d'acaï à 12% de matière sèche
- Ajout d'acide citrique (0,10%)
- Ref. 106 : conditionnement en fût métallique de 180 kg
- Ref. 163 : conditionnement en poches PET de 5 kg (cartons de 3 poches)
 - Ref. 163-1 : destination Cube
 - Ref. 163-2 : destination Marmande
- La ref. 163 sert de base à la fabrication de la ref. 143 (produit 4)

Références 120 et 143 (produits 3 et 4) – Produits restauration :

- Purée d'acaï à 10% de matière sèche
- Ajout d'acide citrique (0,10%) et de sucre (10%)
- Ref. 120 : conditionnement en dosettes de 100g (cartons de 40 dosettes)
 - Ref. 120-1 : destination Mouguerre
 - Ref. 120-2 : destination Lapeyre
- Ref. 143 : produit issu de la transformation de la ref. 163 ou 118, conditionné en galets de 8g (carton de 10 kg)
 - Ref. 143-1 : via ref. 163, destination Cube
 - Ref. 143-2 : via ref. 118, destination Cube
- La ref. 143 sert de base à la fabrication de la ref. 187 (produit 6)

Références 131 et 187 (produits 5 et 6) – Produits magasins bio :

- Purée d'acaï à 10% de matière sèche
- Ajout d'acide citrique (0,30%)
- Ref. 131 : conditionnement en sachets de 4×100g puis par poches de 10 sachets (cartons de 10 poches)
 - Ref. 131-1 : destination Rennes
 - Ref. 131-2 : destination Kilimanjabio
 - Ref. 131-3 : destination Aquibio
 - Ref. 131-4 : destination Cavaillon
- Ref. 187 : produit issu de la transformation de la ref. 143, conditionné en sachets de 250g de galets de 8g (cartons de 10 sachets)

- Ref. 187-1 : via ref. 143 (voie 163), destination Supergel
- Ref. 187-2 : via ref. 143 (voie 118), destination Lapeyre
- Ref. 187-3 : via ref. 143 (voie 163), destination Ablis
- Ref. 187-4 : via ref. 143 (voie 118), destination Supergel
- Ref. 187-5 : via ref. 143 (voie 118), destination Lapeyre
- Ref. 187-6 : **via ref. 143 (voie 118), destination Ablis**

Référence 118 (produit 7) - Produit industriel :

- Purée d'acaï à 14% de matière sèche
- Ajout d'acide citrique (0,10%)
- Conditionnement en poches PET de 5 kg (cartons de 3 poches)
- La ref. 118 sert de base à la fabrication de la ref. 143 (produit 4), en alternative à la ref. 163

→ Ce produit à plus forte concentration en matière sèche permet une optimisation du transport en réduisant la quantité d'eau transportée.

02.3_LIMITES GÉOGRAPHIQUES ET TEMPORELLES

La portée géographique de l'étude s'étend sur plusieurs territoires :

- Au Brésil :
 - Cueillette sauvage des baies d'acaï
 - Première transformation en purée dans une usine prestataire
 - Transport routier frigorifique jusqu'au port
- Transport maritime en conteneur frigorifique du Brésil vers la France (Le Havre)
- En France et Belgique :
 - Stockage en entrepôt frigorifique
 - Distribution vers les grossistes et entrepôts des chaînes de magasins
 - Transformations secondaires (ref. 143 et 187)
 - Fin de vie des emballages selon les filières locales

Les données analysées ont été collectées autour de l'année 2023. L'étude est considérée comme valide pour les deux années suivantes, les conditions de production étant stables sur cette période.

02.4_MÉTHODES D'ALLOCATION

En ce qui concerne les co-produits issus de la transformation des baies d'acaï, deux cas sont à distinguer :

- **Les noyaux valorisés énergétiquement** font l'objet d'une allocation spécifique. Leur combustion est considérée comme neutre en carbone car elle s'inscrit dans un cycle court où le CO₂ émis correspond exactement au carbone préalablement capté par photosynthèse lors de la croissance du palmier. Cette approche est conforme aux méthodologies standard de bilan carbone pour la biomasse produite et consommée dans la même année. Seules les émissions directes de CO₂ sont concernées par cette

allocation, les autres impacts environnementaux potentiels (transport, qualité de l'air) restant à considérer dans une approche plus globale.

- **Pour les autres co-produits** comme les peaux des baies, ceux-ci ont été exclus de l'étude par manque de données fiables sur leur valorisation. Aucune méthode d'allocation n'a donc été appliquée pour ces éléments.

Allocation pour les transformations successives

Pour les références issues de transformations successives (ref. 143 et 187), l'allocation suit le principe de l'approche attributionnelle :

- Les impacts amont sont intégralement attribués au produit final
- Les impacts des transformations intermédiaires s'ajoutent aux impacts initiaux
- Chaque étape de conditionnement/reconditionnement est comptabilisée séparément

03. INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE (ICV)

03.1_QUANTIFICATION DES FLUX ENTRANTS ET SORTANTS

03.1.1_MATIERES PREMIERES PRINCIPALES

Baies d'acaï :

- Pour les produits à 14% MS (réf. 118) : 2,979 kg de baies pour 1 kg de purée
- Pour les produits à 12% MS (réf. 106 et 163) : 2,088 kg de baies pour 1 kg de purée
- Pour les produits à 10% MS (réf. 120, 131, 143 et 187) : 1,678 kg de baies pour 1 kg de purée

Additifs :

- Acide citrique :
 - * 0,10% pour les réf. 106, 163, 118, 120 et 143
 - * 0,30% pour les réf. 131 et 187
- Sucre (uniquement pour réf. 120 et 143) : 10% du produit fini

03.1.2_EMBALLAGES

Référence 106 (fût métallique) :

- Fût acier : 14,4 kg
- Film PEBD : 0,374 kg

Référence 163 (poche 5 kg) :

- PET souple : 0,025 kg
- Carton : 0,25 kg

Référence 120 (dosette 100g) :

- PET souple : 0,0015 kg
- Carton : 0,005 kg

Pour un carton de 40 dosettes (4kg)

Référence 143 (galets 8g, carton 10kg) :

- PET souple : 0,02 kg
- Carton : 0,34 kg

Référence 131 (4 x 100g) :

- PET souple : 0,0015 kg par poche, soit 0,006 kg au total
- Carton : 0,04 kg

Pour un carton de 10 poches (4kg)

Référence 187 (galets 8g, sachets 250g) :

- PET souple : 0,0063 kg
- Carton : 0,015 kg

Pour un carton de 10 sachets (2,5kg)

Note sur les transformations successives :

Les références 163 et 118 (poches de 5 kg) servent de base pour produire la ref. 143

Lors de cette transformation :

- Le contenu des poches de 5 kg des références 163 ou 118 est reconditionné en sachets de 10 kg de galets (ref. 143)
- La ref. 143 est ensuite reconditionnée en sachets de 250g (ref. 187)

Ces transformations successives impliquent donc une comptabilisation des impacts liés aux emballages à chaque étape du processus.

03.1.3_CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES POUR LA TRANSFORMATION

Équipements de préparation des fruits

Équipement	Puissance installée (kW)	Émissions pour pulpe 10% (kgCO ₂ /kg)	Émissions pour pulpe 12% (kgCO ₂ /kg)	Émissions pour pulpe 14% (kgCO ₂ /kg)
Tapis d'alimentation	1,47	0,000038	0,000021	0,000026
Souffleurs de fruits	2,94	0,000075	0,000042	0,000053
Cuves de lavage (x3)	5,15 (chacune)	0,000132	0,000074	0,000092
Tapis de levage	1,47	0,000038	0,000021	0,000026
Bandes d'alimentation doseurs	1,47	0,000038	0,000021	0,000026

Équipements de transformation

Équipement	Puissance installée (kW)	Émissions pour pulpe 10% (kgCO ₂ /kg)	Émissions pour pulpe 12% (kgCO ₂ /kg)	Émissions pour pulpe 14% (kgCO ₂ /kg)
Alimentateurs pulpeurs	6,89	0,000084	0,000047	0,000059
Pulpeurs d'acaï	18,38	0,001121	0,000632	0,000786
Convoyeur à vis 8000mm	3,68	0,000094	0,000053	0,000066
Convoyeur à vis 15000mm	8,82	0,000226	0,000127	0,000158
Cuves réception/filtration	3,68	0,000053	0,000053	0,000053

Équipements de conditionnement

Équipement	Puissance installée (kW)	Émissions (kgCO ₂ /kg)
Cuve 4000L isotherme	3,68	0,000079
Remplisseuse 1kg et 5kg	7,35	0,000176
Remplisseuse 100g	4,41	0,000542
Remplisseuse tambour	4,41	0,000063

Équipements de froid et utilités

Équipement	Puissance installée (kW)	Émissions (kgCO ₂ /kg)
Cuves stockage 1200L	1,47	0,000053
Triblender	3,68	0,000021
Pasteurisateur	5,51	0,000190
Tour refroidissement	5,51	0,000024
Chiller	58,82	0,000337
Tunnel congélation	117,65	0,005059

La variation des émissions selon la concentration en matière sèche s'explique par les différentes quantités de produit traitées par heure. Les équipements de conditionnement et de froid/utilités ont des émissions constantes car leur consommation dépend principalement du volume physique traité plutôt que de la concentration en matière sèche.

03.1.4_TRANSPORT ET STOCKAGE

Transport au Brésil :

Transport forêt => port coopérative : Le transport forêt-port se fait via deux prestataires différents, avec des caractéristiques distinctes :

Transport COOPRAEM :

- Chargement total d'un bateau : 1400 kg
- Consommation gasoil : 5 litres
- Consommation spécifique : 0,00357143 L/kg
- Facteur d'émission du carburant (MDO) : 2,97 kgCO₂e/litre
- Émissions par kg de fruits transportés : 0,011 kgCO₂e/kg

Transport ODAIR :

- Chargement total d'un bateau : 28000 kg
- Consommation gasoil : 60 litres
- Consommation spécifique : 0,00214286 L/kg
- Facteur d'émission du carburant (MDO) : 2,97 kgCO₂e/litre
- Émissions par kg de fruits transportés : 0,0064 kgCO₂e/kg

En tenant compte des volumes transportés par chaque prestataire, le facteur d'émission pondéré est de 0,00656633 kgCO₂e/kg de fruits transportés.

Transport port coopérative => usine

- Chargement camion : 16800 kg
- Distance : 100 km
- Émissions : 0,0153 kgCO₂e/kg de fruits
- FE Transport en camion (dont parc, utilisation et infrastructure) (70%) (100% charge & 30% TRV) [tkm], GLO = 0,153 kgCO₂e/t.km

Transport international :

- Transport maritime (Brésil => Le Havre)
- Distance : 7400 km
- FE : 0,0152 kgCO₂e/t.km Porte-conteneur/Reefer/Europe - Amérique du Sud et Centrale – Base Empreinte
- Émissions : 0,11248 kgCO₂e/kg produit

Transport routier Europe : FE : 0,0771464 kgCO₂e/t.km / FE Cooling truck transport (frozen) (incl. infrastructure fleet and street) (100%) Base Empreinte

Principaux trajets émissions en kgCO₂e/kg produit :

Référence	Destination	Émissions transport (kgCO ₂ e/kg)
Ref. 106	Boiron	0,18875
Ref. 163	Cube	0,17640
Ref. 163	Marmande	0,17640
Ref. 120	Mouguerre	0,20457
Ref. 120	Lapeyre	0,15134
Ref. 143	Cube => Sivafrast	0,00694
Ref. 131	Rennes	0,16438
Ref. 131	Kilimanjabio	0,20950
Ref. 131	Aquibio	0,19460
Ref. 131	Cavaillon	0,18019
Ref. 187	Sivafrast => Supergel	0,02850
Ref. 187	Sivafrast => Lapeyre	0,03390
Ref. 187	Sivafrast => Ablis	0,03101
Ref. 118	Cube	0,17640

Stockage frigorifique :

- Impact : 0,0115 kgCO₂e/kg produit
- Durée : 4,5 mois
- Comprend :
 - Consommation électrique
 - Fuites de fluides frigorigènes

03.2_FACTEURS D'ÉMISSION ET HYPOTHÈSES DE CALCUL**03.2.1_FACTEURS D'ÉMISSION MULTICRITÈRES DES MATÉRIAUX ET INTRANTS**

Matières premières :

Matériau	Changement climatique	Acidification	Appauvrissement	Consommation d'eau	Eutrophisation eaux douces	Eutrophisation sols
	(kg éq. CO ₂)	(mol éq. H ⁺)	(kg éq. CFC-11)	(m ³ éq.)	(kg éq. P)	(kg éq. N)
Baies d'acaï	0	0	0	0	0	0
Acide citrique	3,3	0,024	$1,2 \times 10^{-6}$	0,18	$3,5 \times 10^{-5}$	0,008
Sucre bio brésilien	0,89	0,006	$2,1 \times 10^{-7}$	0,12	$1,8 \times 10^{-5}$	0,005

Emballages :

Matériau	Changement climatique	Acidification	Appauvrissement	Consommation d'eau	Eutrophisation eaux douces	Eutrophisation sols
	(kg éq. CO ₂ /kg)	(mol éq. H ⁺ /kg)	(kg éq. CFC-11/kg)	(m ³ éq./kg)	(kg éq. P/kg)	(kg éq. N/kg)
Acier (fût recyclé)	0,227	0,0018	$4,2 \times 10^{-9}$	0,025	$2,8 \times 10^{-6}$	0,0012
PET souple (Brésil)	1,86	0,012	$8,5 \times 10^{-8}$	0,35	$4,2 \times 10^{-5}$	0,018
Film PEBD	2,18	0,014	$9,8 \times 10^{-8}$	0,42	$5,1 \times 10^{-5}$	0,021
Carton vierge	0,355	0,0032	$1,8 \times 10^{-8}$	0,085	$1,2 \times 10^{-5}$	0,0045
Carton recyclé	0,640	0,0058	$3,2 \times 10^{-8}$	0,155	$2,1 \times 10^{-5}$	0,0082

03.2.2_FACTEURS D'ÉMISSION MULTICRITÈRES DES TRANSPORTS

Transport routier Brésil :

Mode de transport	Change ment climatique	Acidification	Appauvrisse ment	Consommation d'eau	Eutrophisation eaux douces	Eutrophisation sols
	(kg éq. CO ₂ /t.km)	(mol éq. H ⁺ /t.km)	(kg éq. CFC-11/t.km)	(m ³ éq./t.km)	(kg éq. P/t.km)	(kg éq. N/t.km)
Routier Brésil	0,110	0,00085	$1,2 \times 10^{-8}$	0,018	$1,5 \times 10^{-6}$	0,00042
Maritime international	0,0152	0,00012	$1,8 \times 10^{-9}$	0,0025	$2,1 \times 10^{-7}$	0,000068
Routier Europe	0,0771	0,00062	$8,5 \times 10^{-9}$	0,012	$1,1 \times 10^{-6}$	0,00028

Les facteurs d'émission des transports ont été adaptés pour refléter les spécificités des différents contextes géographiques et modes de transport. Pour le transport routier, une distinction importante a été établie entre les opérations au Brésil et en Europe, prenant en compte les particularités de chaque région.

Ajustements pour le transport routier au Brésil :

- Topographie : +12% (relief accidenté des routes amazoniennes)
- État des infrastructures routières : +7%
- Âge moyen du parc de camions : +12%
- Impact température sur groupes frigorifiques : +17%
- Mix électrique brésilien plus favorable : -5%

03.2.3_HYPOTHÈSES ET MÉTHODES DE CALCUL MULTICRITÈRES**Production des baies :**

- Hypothèse de neutralité pour toutes les catégories d'impact pour la cueillette sauvage
- Justification : absence d'intervention humaine sur la croissance, similaire à la vanille sauvage
- Les impacts commencent à la collecte des fruits

Combustion des noyaux d'acaï :

- Neutralité carbone pour le changement climatique (cycle court du carbone)
- Impacts non nuls pour les autres catégories (acidification, particules, etc.) mais considérés négligeables
- Cohérent avec les recommandations du GIEC pour la biomasse

Transformation - Facteur d'émission électricité Brésil multicritère :

Catégorie d'impact	Facteur d'émission
Changement climatique	0,087 kgCO ₂ e/kWh
Acidification	0,00065 mol H ⁺ eq/kWh
Appauvrissement	8,2×10 ⁻⁹ kg CFC-11 eq/kWh
Consommation d'eau	0,012 m ³ eq/kWh
Eutrophisation eaux douces	1,1×10 ⁻⁶ kg P eq/kWh
Eutrophisation sols	0,00035 kg N eq/kWh

Base de calcul :

- Capacité de production horaire de l'usine = 4786 kg
- Rendements de transformation :
 - Pour 14% MS : 0,336 kg de pulpe par kg de fruit
 - Pour 12% MS : 0,479 kg de pulpe par kg de fruit
 - Pour 10% MS : 0,596 kg de pulpe par kg de fruit

Stockage frigorifique multicritère :

Calcul basé sur :

- Masse volumique de la purée ≈ 1000 kg/m³
- Consommation électrique : 75 kWh/m³/an
- Taux de fuite fluides frigorigènes : 7%/an
- PRG moyen des fluides : 550 (conformément aux nouvelles réglementations F-Gas)

Catégorie d'impact	Impact stockage
Changement climatique	0,0115 kgCO ₂ e/kg
Acidification	8,5×10 ⁻⁵ mol H ⁺ eq/kg
Appauvrissement	1,2×10 ⁻⁹ kg CFC-11 eq/kg
Consommation d'eau	0,0018 m ³ eq/kg
Eutrophisation eaux douces	1,8×10 ⁻⁷ kg P eq/kg
Eutrophisation sols	0,000052 kg N eq/kg

03.2.4_EXCLUSIONS ET LIMITES DE L'INVENTAIRE**Exclusions du système :**

1. Matériaux et transport :
 - Transport des emballages vides vers les sites de conditionnement
 - Encres d'impression sur les emballages
2. Transport aval :
 - Trajets entre grossistes et clients finaux
 - Transport entre entrepôts et magasins
 - Transport entre magasins et consommateurs finaux
3. Co-produits :
 - Valorisation des peaux des baies Justification : absence de données sur leur utilisation

4. Phase d'utilisation :

- Conservation chez le client
- Préparation du produit
- Consommation d'énergie associée

Limites techniques :

1. Données d'activité :

- Certaines consommations énergétiques sont basées sur des moyennes
- Les distances de transport sont calculées sur des trajets théoriques

2. Facteurs d'émission :

- Utilisation de facteurs RoW et GLO en cas d'absence de données pour le Brésil
- Utilisation de valeurs moyennes pour certains processus

3. Temporalité :

- Données collectées sur 2023
- Validité prévue pour 2 ans (stabilité des conditions de production)

4. Catégories d'impact non évaluées :

- Toxicité humaine et écotoxicité
- Utilisation des sols et impacts sur la biodiversité
- Particules et qualité de l'air local
- Épuisement des ressources minérales et fossiles

4. ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

04.1_CHOIX DES CATÉGORIES D'IMPACT

Cette analyse du cycle de vie est une étude multicritère couvrant six catégories d'impact environnemental. Ces catégories ont été sélectionnées pour :

- Fournir une évaluation environnementale complète et équilibrée des produits
- Permettre une comparaison robuste entre les différentes références
- S'aligner avec les pratiques courantes du secteur alimentaire et les réglementations européennes
- Répondre aux attentes des parties prenantes en matière de transparence environnementale

Les catégories d'impact évaluées sont :

1. Changement climatique - contribution au réchauffement global
2. Acidification - impacts sur les écosystèmes terrestres et aquatiques
3. Appauvrissement de la couche d'ozone - impacts sur la couche d'ozone stratosphérique
4. Consommation d'eau - privation d'eau douce disponible
5. Eutrophisation des eaux douces - enrichissement en nutriments phosphatés
6. Eutrophisation des sols - enrichissement en nutriments azotés

Chaque catégorie d'impact est évaluée à l'échelle appropriée (globale, régionale ou locale) selon la nature des phénomènes environnementaux concernés.

04.2_MÉTHODE DE CARACTÉRISATION

L'évaluation utilise les **facteurs de caractérisation de la base de données ecoinvent**, reconnue internationalement comme référence scientifique pour les analyses de cycle de vie. Cette base de données garantit :

- La robustesse scientifique des facteurs de caractérisation
- La cohérence méthodologique avec les normes ISO 14040/14044
- La comparabilité avec d'autres études du secteur alimentaire
- L'accès à des données primaires de haute qualité

Facteurs de caractérisation par catégorie :

Catégorie d'impact	Méthode de caractérisation	Unité	Horizon temporel
Changement climatique	Potentiel de réchauffement global (IPCC 2021)	kg éq. CO ₂	100 ans
Acidification	Potentiel d'acidification (CML-IA baseline)	mol éq. H ⁺	Steady state
Appauvrissement ozone	Potentiel d'appauvrissement (WMO 2014)	kg éq. CFC-11	Steady state
Consommation d'eau	Water scarcity footprint (AWARE)	m ³ éq. privé mondial	Annuel

Eutrophisation eaux douces	Freshwater eutrophication potential	kg éq. P	Steady state
Eutrophisation sols	Terrestrial eutrophication potential	kg éq. N	Steady state

04.3_PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

04.3.1_RÉSULTATS GLOBAUX MULTICRITÈRES

L'analyse révèle une **variabilité significative** des impacts selon les références et leurs variantes de destination. Les résultats complets pour les 18 variantes de produits sont présentés ci-dessous :

Tableau des impacts multicritères par référence :

Référence	Description	Change ment climatique	Acidification	Appauvrissement	Consommation d'eau	Eutrophisation eaux douces	Eutrophisation sols
		(kg éq. CO ₂)	(mol éq. H ⁺)	(kg éq. CFC-11)	(m ³ éq.)	(kg éq. P)	(kg éq. N)
ref. 106	Fût métallique 180kg	0,888	$6,11 \times 10^{-3}$	$3,39 \times 10^{-8}$	0,202	$1,36 \times 10^{-4}$	$3,43 \times 10^{-2}$
ref. 163-1	Poche 5kg → Cube	0,740	$5,44 \times 10^{-3}$	$1,06 \times 10^{-7}$	0,177	$1,04 \times 10^{-4}$	$3,25 \times 10^{-2}$
ref. 163-2	Poche 5kg → Marmande	0,876	$5,44 \times 10^{-3}$	$1,06 \times 10^{-7}$	0,177	$1,04 \times 10^{-4}$	$3,25 \times 10^{-2}$
ref. 120-1	Dosette 100g → Mougere	0,974	$7,83 \times 10^{-3}$	$9,63 \times 10^{-7}$	0,227	$1,43 \times 10^{-4}$	$3,94 \times 10^{-2}$
ref. 120-2	Dosette 100g → Lapeyre	0,615	$6,33 \times 10^{-3}$	$9,43 \times 10^{-7}$	0,204	$1,07 \times 10^{-4}$	$3,34 \times 10^{-2}$
ref. 143-1	Galets via 163 → Cube	0,690	$4,70 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-7}$	0,241	$1,10 \times 10^{-4}$	$2,63 \times 10^{-2}$
ref. 143-2	Galets via 118 → Cube	0,686	$4,41 \times 10^{-3}$	$8,54 \times 10^{-7}$	0,248	$1,14 \times 10^{-4}$	$2,42 \times 10^{-2}$
ref. 131-1	4×100g → Rennes	0,756	$5,53 \times 10^{-3}$	$5,15 \times 10^{-6}$	0,206	$1,13 \times 10^{-4}$	$3,20 \times 10^{-2}$

ref. 131-2	4×100g → Kiliman jabio	1,060	$6,81 \times 10^{-3}$	$5,17 \times 10^{-6}$	0,226	$1,44 \times 10^{-4}$	$3,71 \times 10^{-2}$
ref. 131-3	4×100g → Aquibio	0,960	$6,38 \times 10^{-3}$	$5,16 \times 10^{-6}$	0,219	$1,34 \times 10^{-4}$	$3,54 \times 10^{-2}$
ref. 131-4	4×100g → Cavaillon	0,863	$5,97 \times 10^{-3}$	$5,16 \times 10^{-6}$	0,213	$1,24 \times 10^{-4}$	$3,38 \times 10^{-2}$
ref. 187-1	Galets 250g via 163 → Supergel	1,130	$8,01 \times 10^{-3}$	$4,30 \times 10^{-6}$	0,552	$2,23 \times 10^{-4}$	$3,40 \times 10^{-2}$
ref. 187-2	Galets 250g via 118 → Lapeyre	1,160	$8,17 \times 10^{-3}$	$4,30 \times 10^{-6}$	0,554	$2,27 \times 10^{-4}$	$3,46 \times 10^{-2}$
ref. 187-3	Galets 250g via 163 → Ablis	1,140	$8,09 \times 10^{-3}$	$4,30 \times 10^{-6}$	0,553	$2,25 \times 10^{-4}$	$3,43 \times 10^{-2}$
ref. 187-4	Galets 250g via 118 → Supergel	1,120	$7,73 \times 10^{-3}$	$4,76 \times 10^{-6}$	0,558	$2,27 \times 10^{-4}$	$3,19 \times 10^{-2}$
ref. 187-5	Galets 250g via 118 → Lapeyre	1,160	$7,88 \times 10^{-3}$	$4,76 \times 10^{-6}$	0,560	$2,31 \times 10^{-4}$	$3,25 \times 10^{-2}$
ref. 187-6	Galets 250g via 118 → Ablis	1,140	$7,80 \times 10^{-3}$	$4,76 \times 10^{-6}$	0,559	$2,29 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-2}$
ref. 118	Poche 5kg 14%MS	1,200	$5,68 \times 10^{-3}$	$8,02 \times 10^{-7}$	0,192	$1,06 \times 10^{-4}$	$3,40 \times 10^{-2}$

04.3.2_ANALYSE PAR CATÉGORIE D'IMPACT

1. Changement climatique (kg éq. CO₂)

Meilleures performances :

- ref. 120-2 : 0,615 kg CO₂ eq (destination Lapeyre)
- ref. 143-2 : 0,686 kg CO₂ eq (via ref. 118)
- ref. 143-1 : 0,690 kg CO₂ eq (via ref. 163)

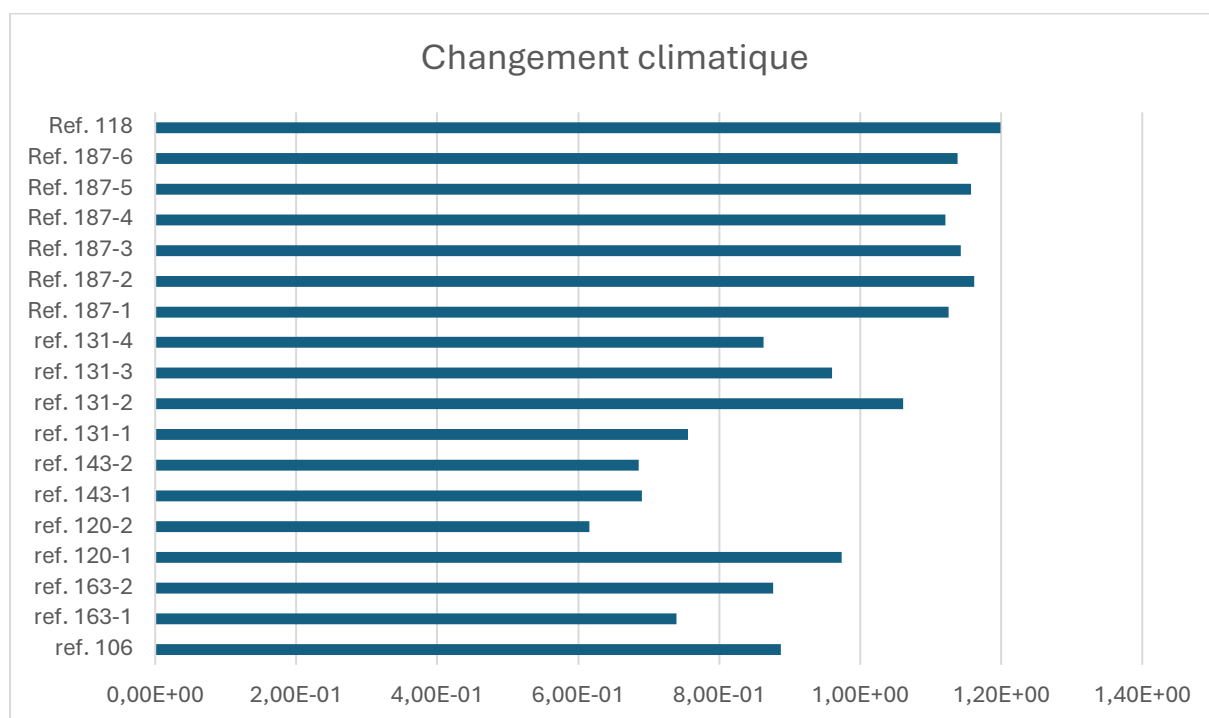
Performances intermédiaires :

- ref. 163-1 : 0,740 kg CO₂ eq
- ref. 131-1 : 0,756 kg CO₂ eq

Impacts les plus élevés :

- ref. 118 : 1,200 kg CO₂ eq
- ref. 187 (toutes variantes) : 1,12-1,16 kg CO₂ eq
- ref. 131-2 : 1,060 kg CO₂ eq

Facteur de variation : 1,9 entre la meilleure et la moins performante



2. Acidification (mol éq. H⁺)

Meilleures performances :

- ref. 143-2 : $4,41 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq
- ref. 143-1 : $4,70 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq

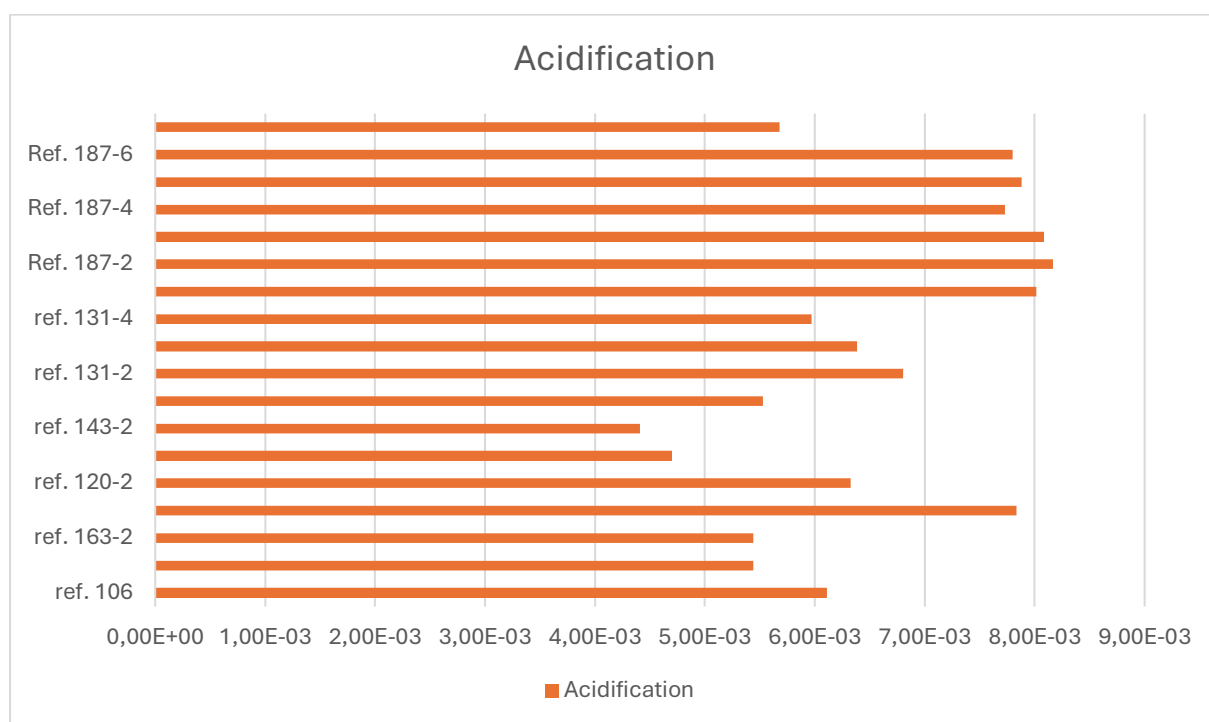
- ref. 163-1 : $5,44 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq

Impacts les plus élevés :

- ref. 187-2 : $8,17 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq
- ref. 187-3 : $8,09 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq
- ref. 187-1 : $8,01 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq

Facteur de variation : 1,85

Corrélation : Forte corrélation avec le changement climatique ($R^2 = 0,78$)



3. Appauvrissement de la couche d'ozone (kg éq. CFC-11)

Meilleures performances :

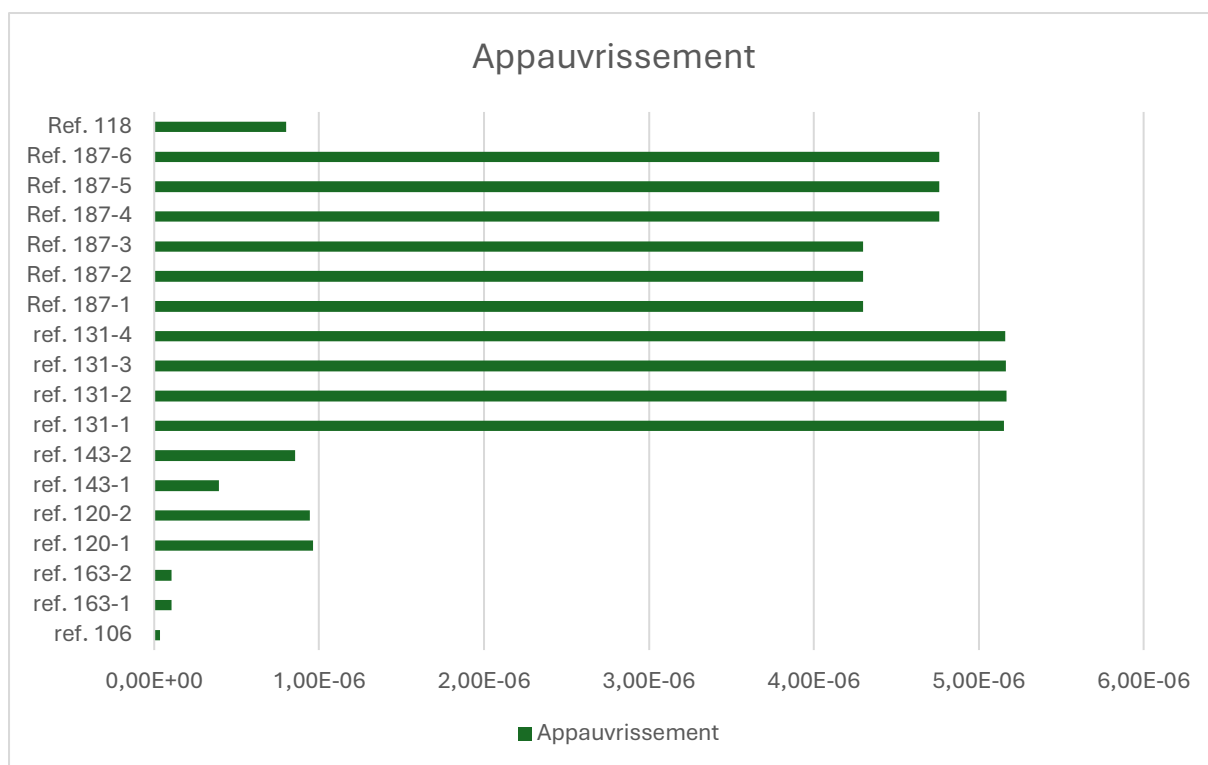
- ref. 106 : $3,39 \times 10^{-8}$ kg CFC-11 eq
- ref. 163 : $1,06 \times 10^{-7}$ kg CFC-11 eq
- ref. 143-1 : $3,92 \times 10^{-7}$ kg CFC-11 eq

Impacts les plus élevés :

- ref. 131 (toutes variantes) : $5,15-5,17 \times 10^{-6}$ kg CFC-11 eq
- ref. 187 (toutes variantes) : $4,30-4,76 \times 10^{-6}$ kg CFC-11 eq

Facteur de variation : 152 (variation la plus importante)

Spécificité : Impact principalement lié aux transports longue distance et fluides frigorigènes



4. Consommation d'eau (m³ éq.)

Meilleures performances :

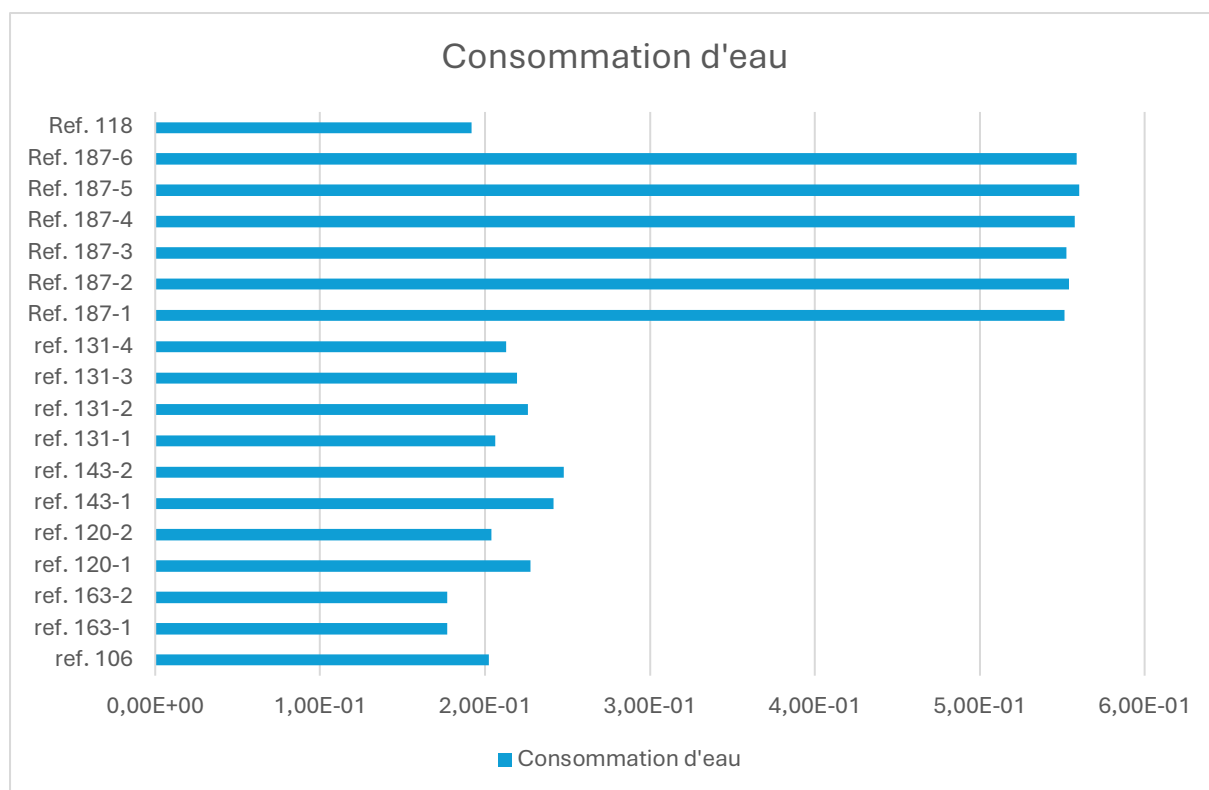
- ref. 163 : 0,177 m³ eq
- ref. 118 : 0,192 m³ eq
- ref. 106 : 0,202 m³ eq

Impacts les plus élevés :

- ref. 187 (toutes variantes) : 0,552-0,560 m³ eq
- ref. 143-2 : 0,248 m³ eq
- ref. 143-1 : 0,241 m³ eq

Facteur de variation : 3,2 (écart le plus important)

Point chaud : Les références 187 montrent une consommation d'eau très élevée



5. Eutrophisation des eaux douces (kg éq. P)

Meilleures performances :

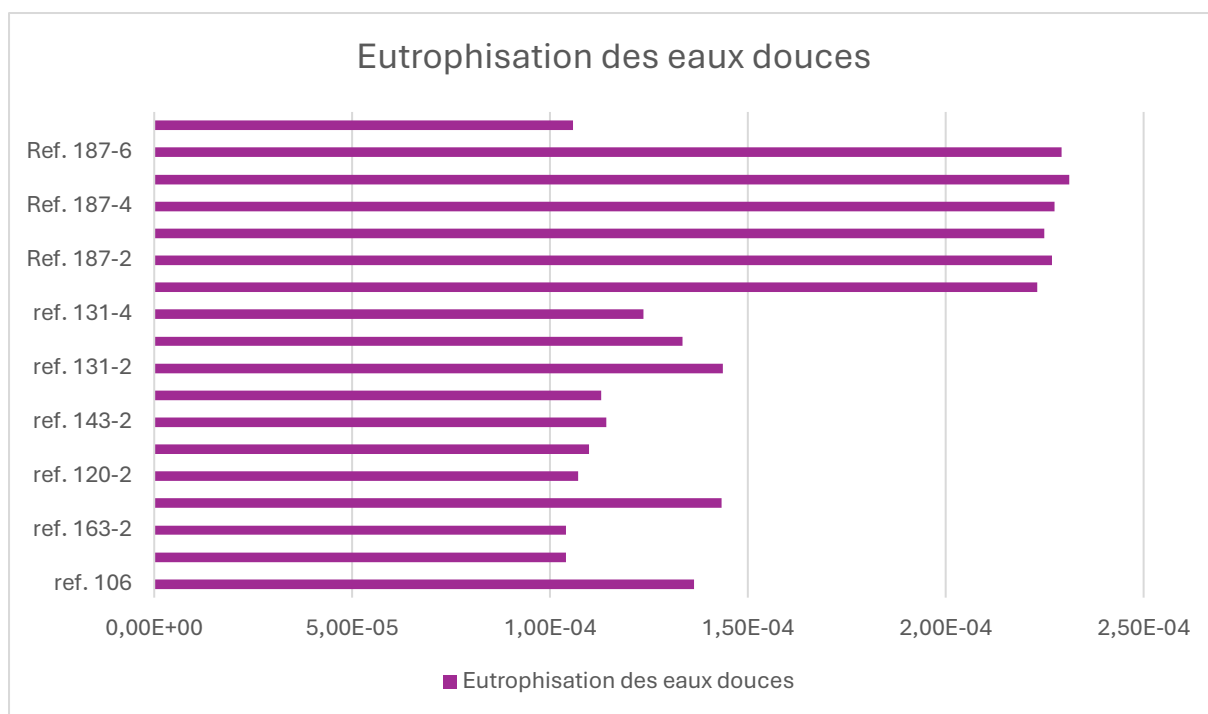
- ref. 163 : $1,04 \times 10^{-4}$ kg P eq
- ref. 118 : $1,06 \times 10^{-4}$ kg P eq
- ref. 120-2 : $1,07 \times 10^{-4}$ kg P eq

Impacts les plus élevés :

- ref. 187-5 : $2,31 \times 10^{-4}$ kg P eq
- ref. 187-2,4 : $2,27 \times 10^{-4}$ kg P eq
- ref. 187-6 : $2,29 \times 10^{-4}$ kg P eq

Facteur de variation : 2,2

Corrélation : Forte corrélation avec la consommation d'eau ($R^2 = 0,85$)



6. Eutrophisation des sols (kg éq. N)

Meilleures performances :

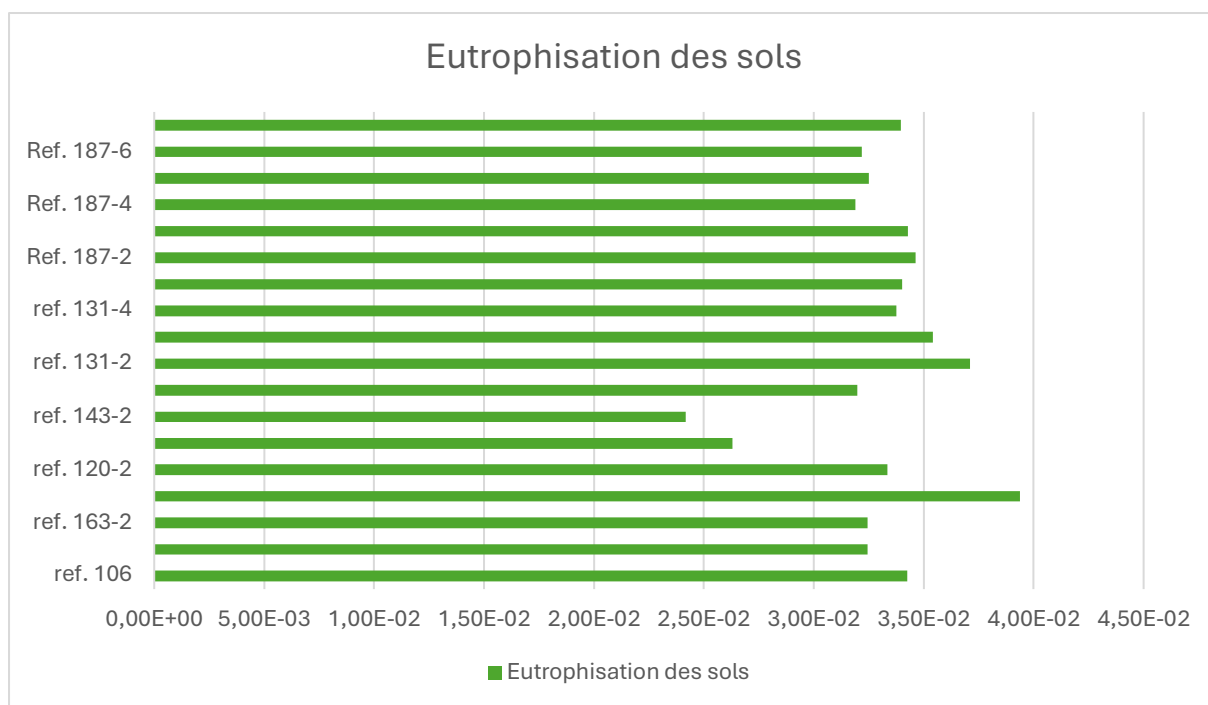
- ref. 143-2 : $2,42 \times 10^{-2}$ kg N eq
- ref. 143-1 : $2,63 \times 10^{-2}$ kg N eq
- ref. 187-4 : $3,19 \times 10^{-2}$ kg N eq

Impacts les plus élevés :

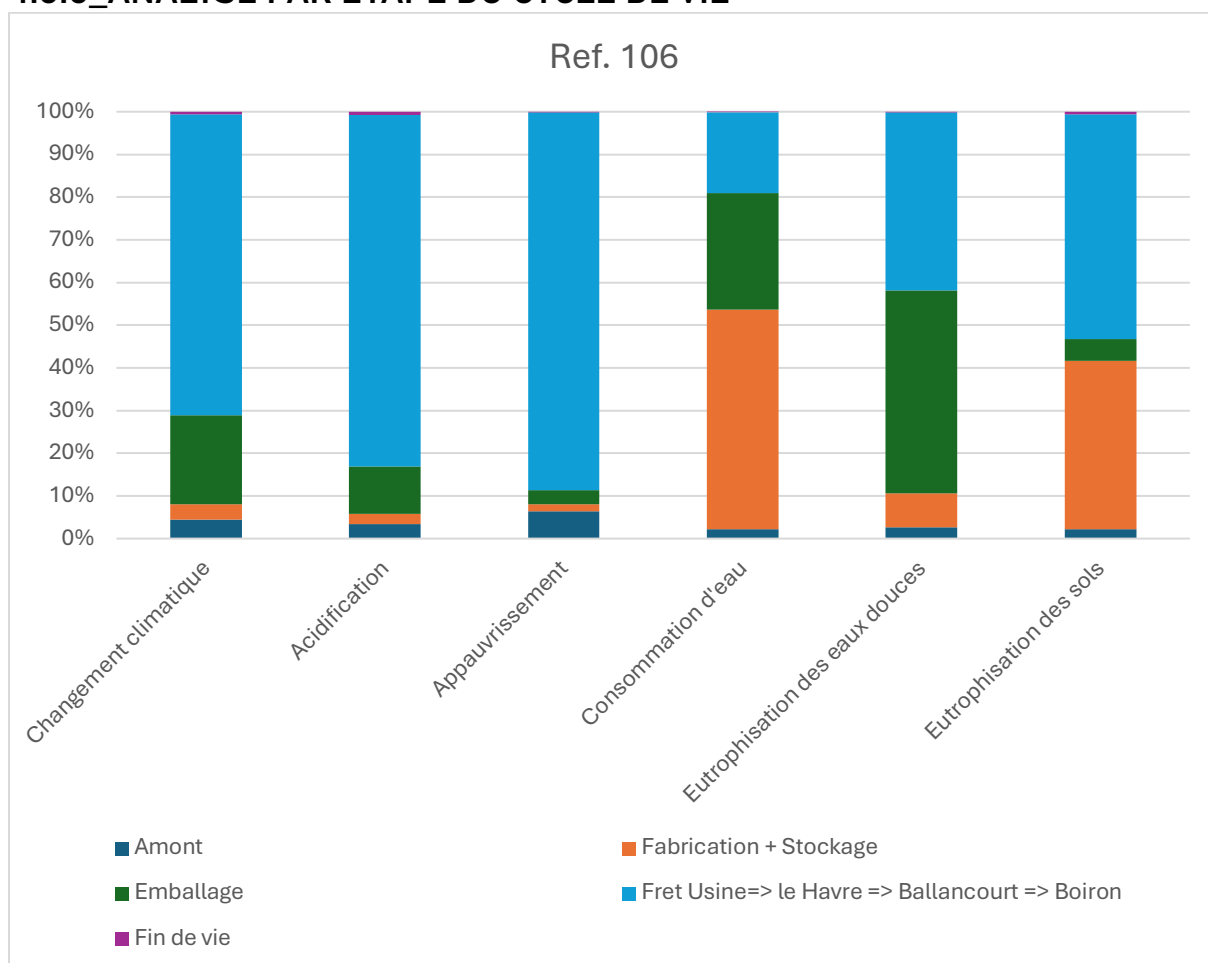
- ref. 120-1 : $3,94 \times 10^{-2}$ kg N eq
- ref. 131-2 : $3,71 \times 10^{-2}$ kg N eq
- ref. 131-3 : $3,54 \times 10^{-2}$ kg N eq

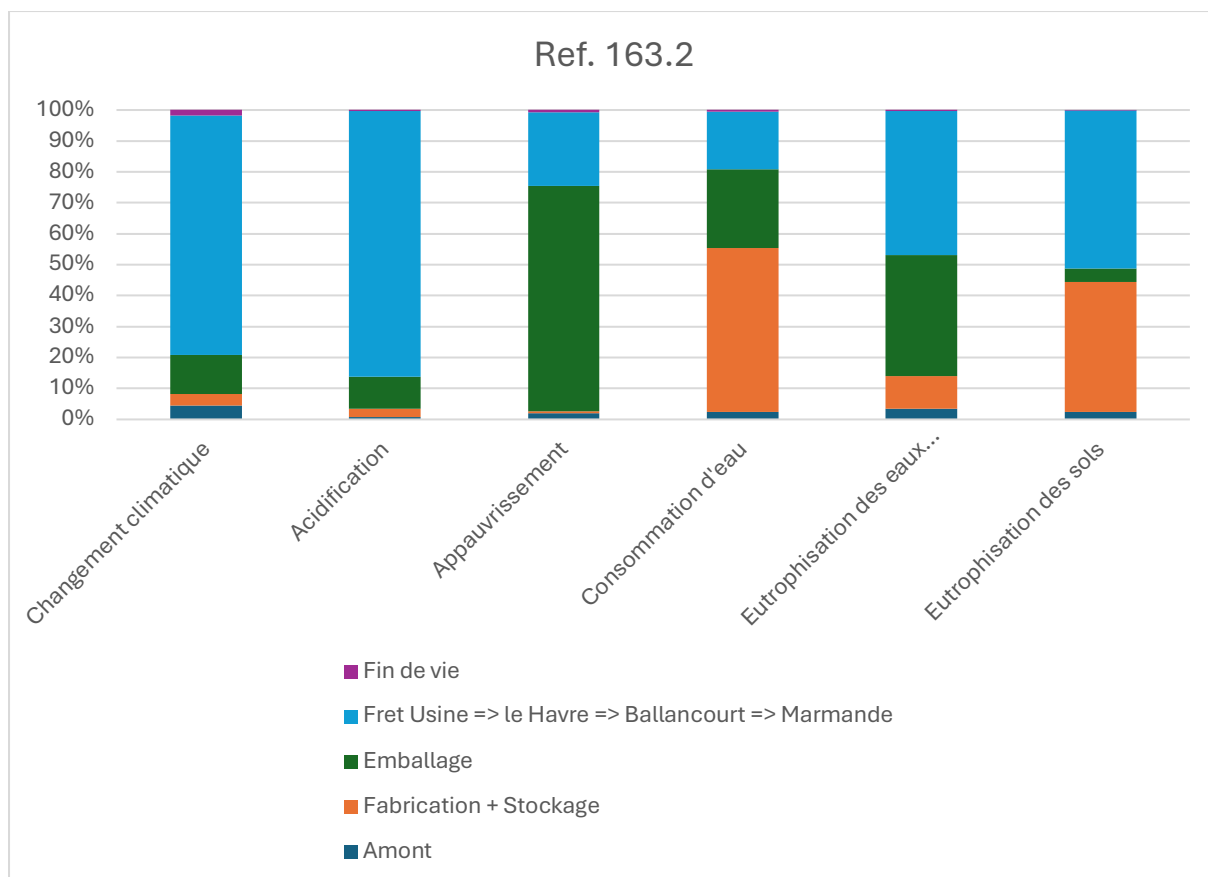
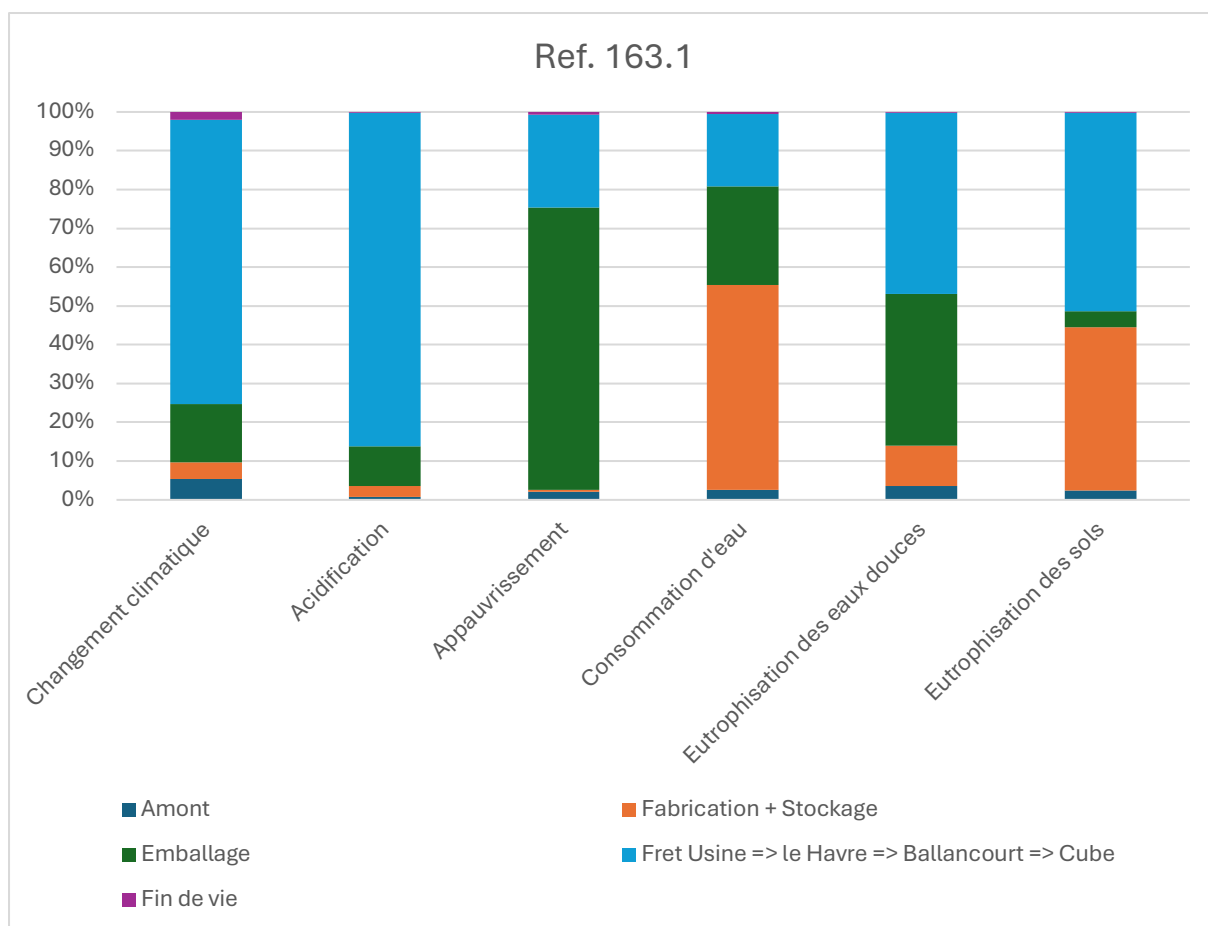
Facteur de variation : 1,6 (variation la plus faible)

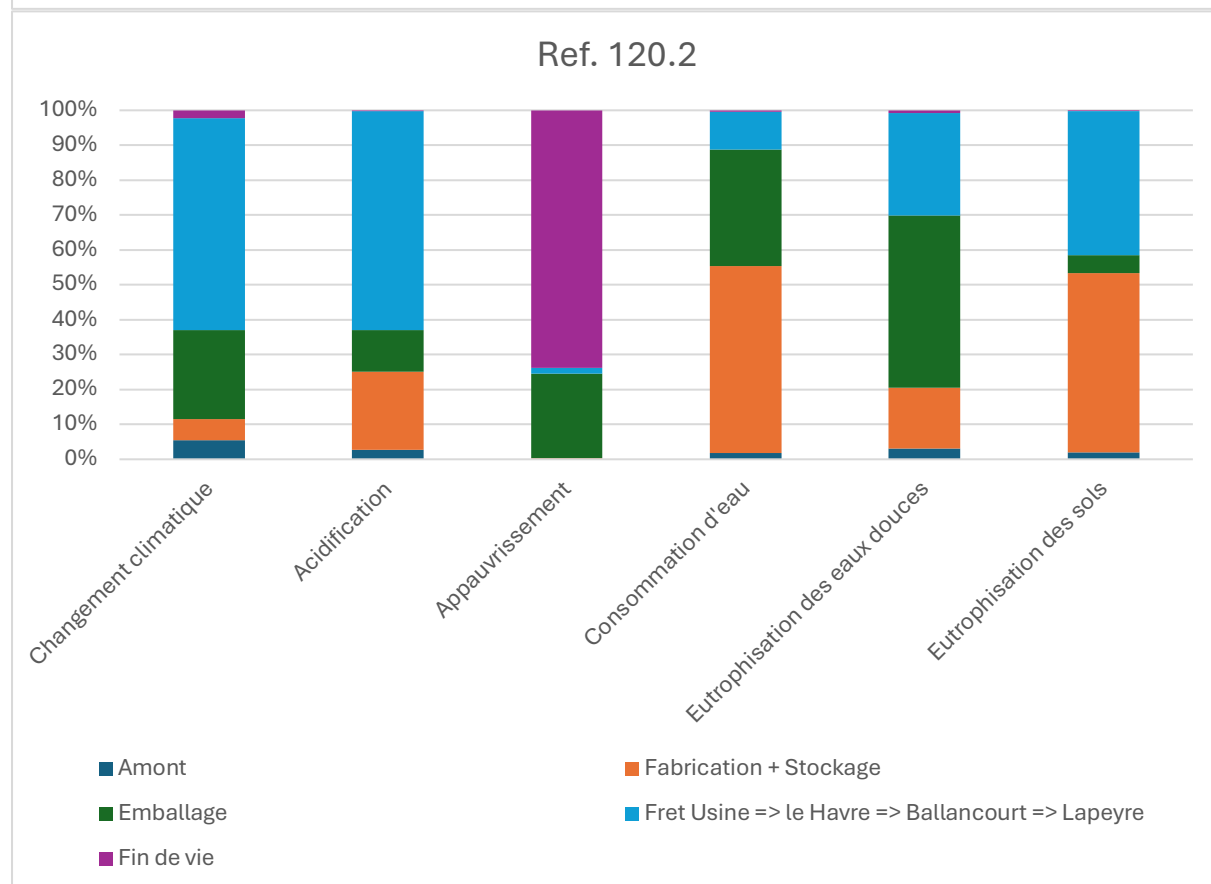
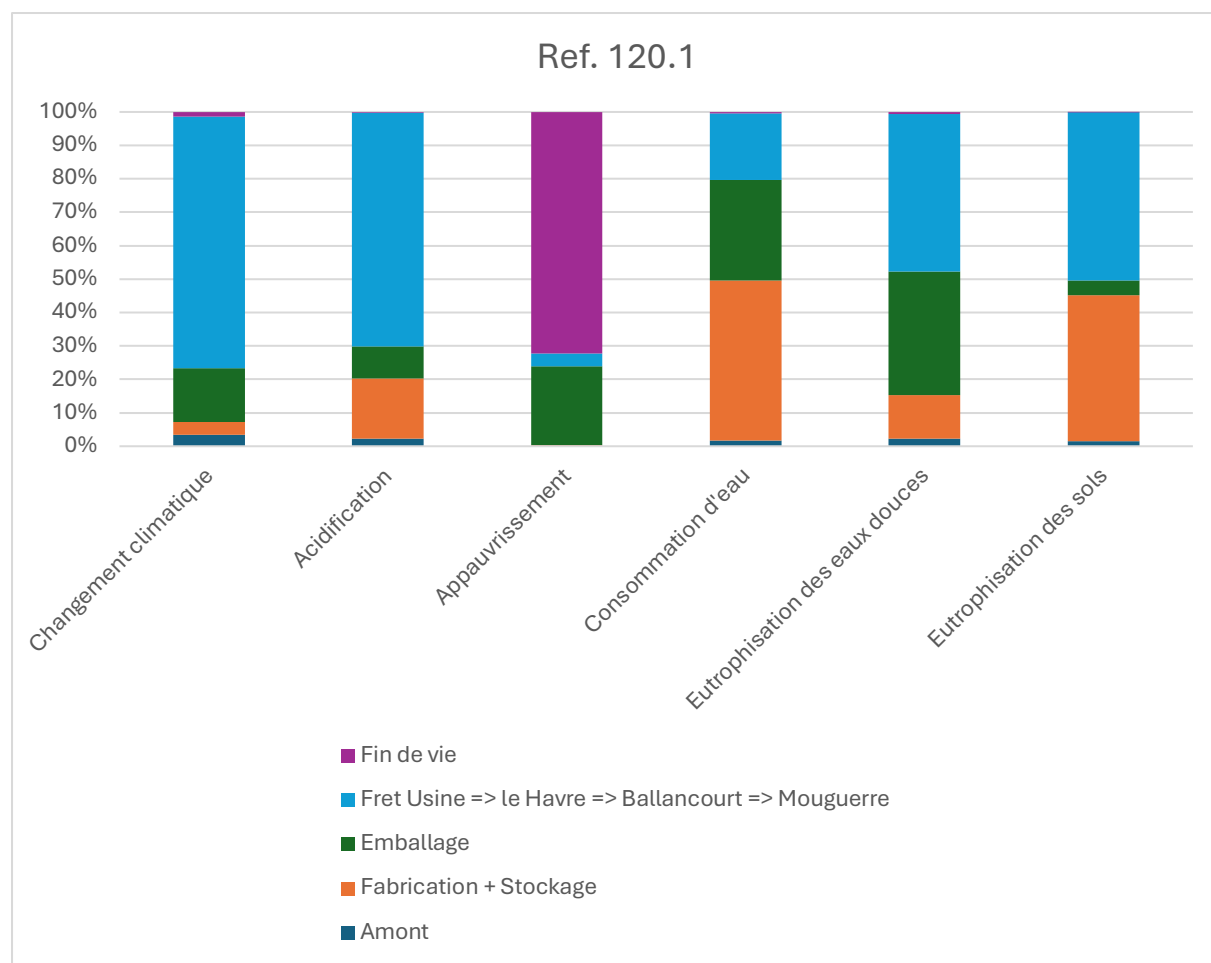
Spécificité : Impacts relativement homogènes entre les références

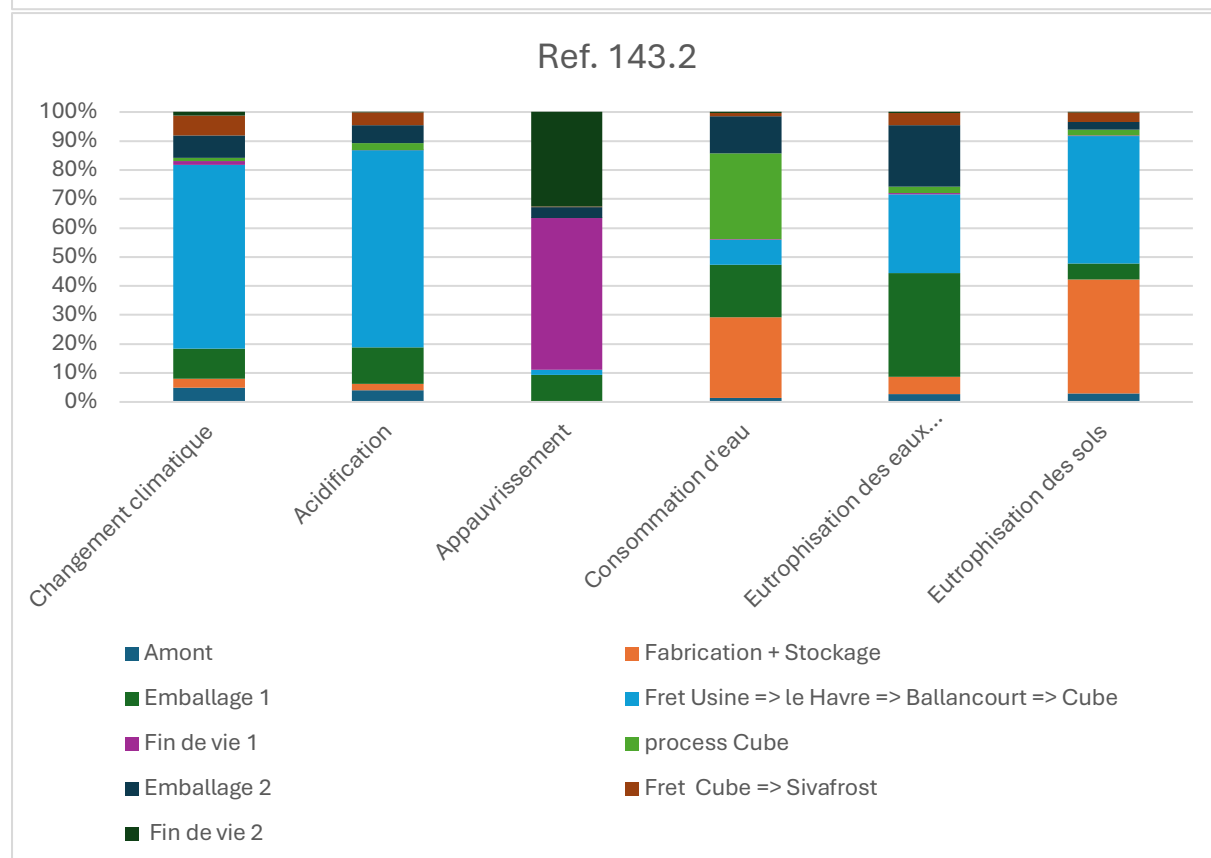
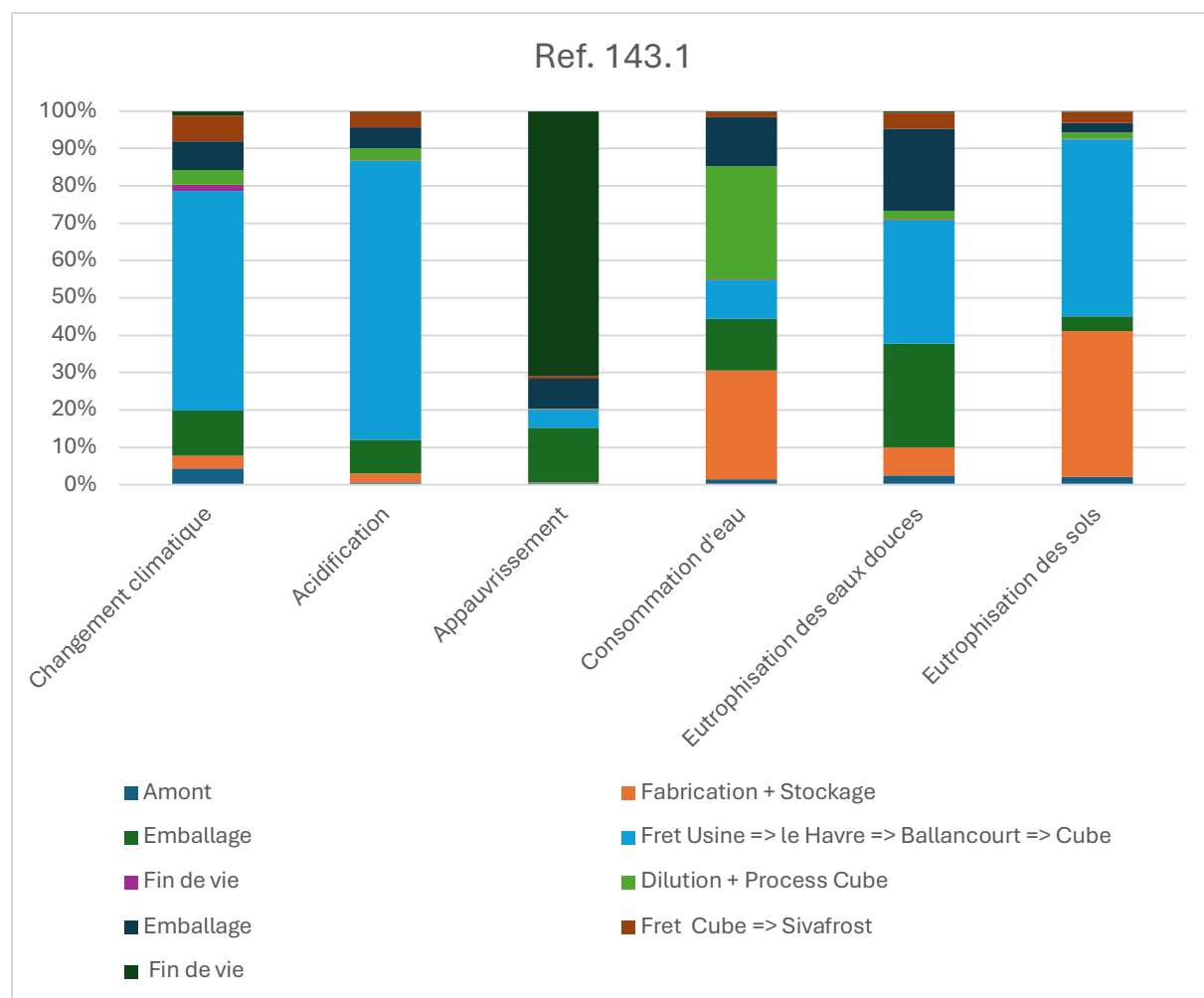


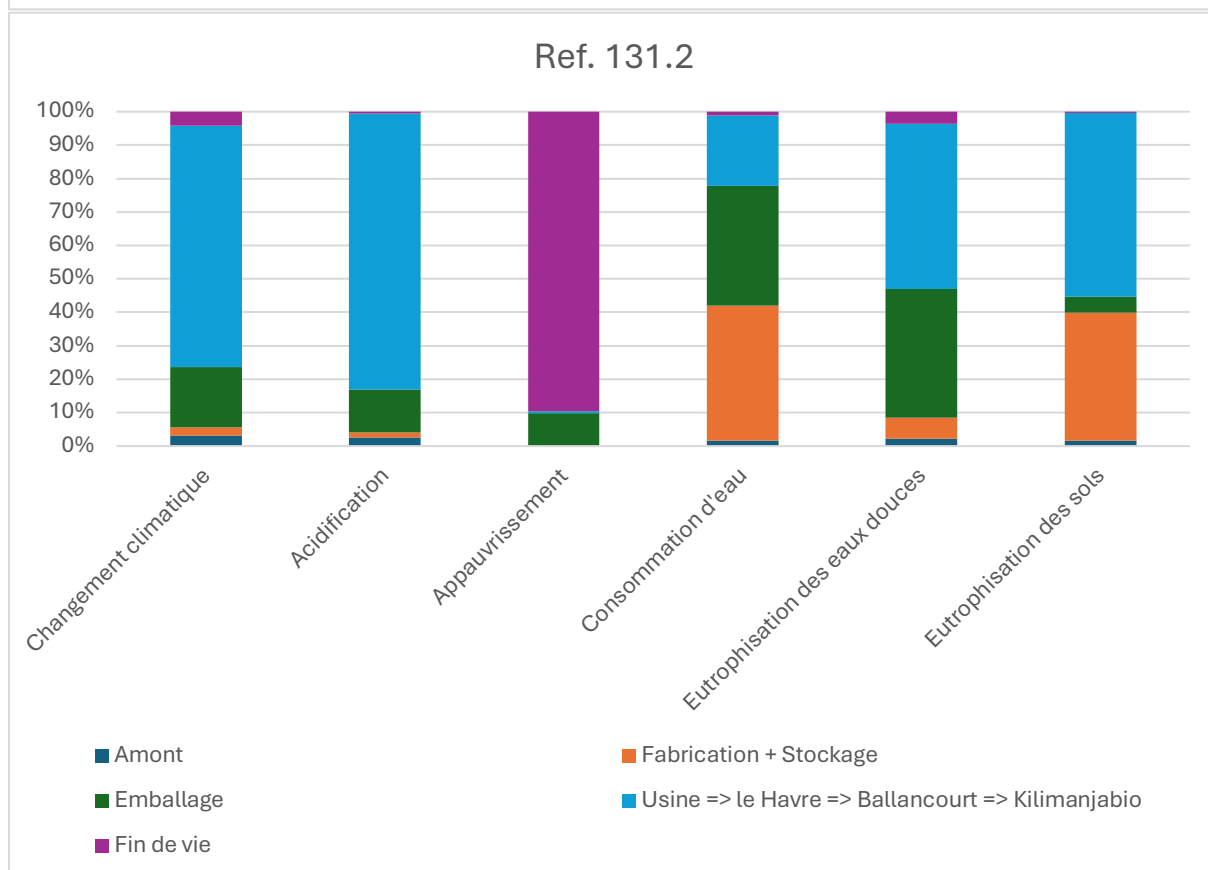
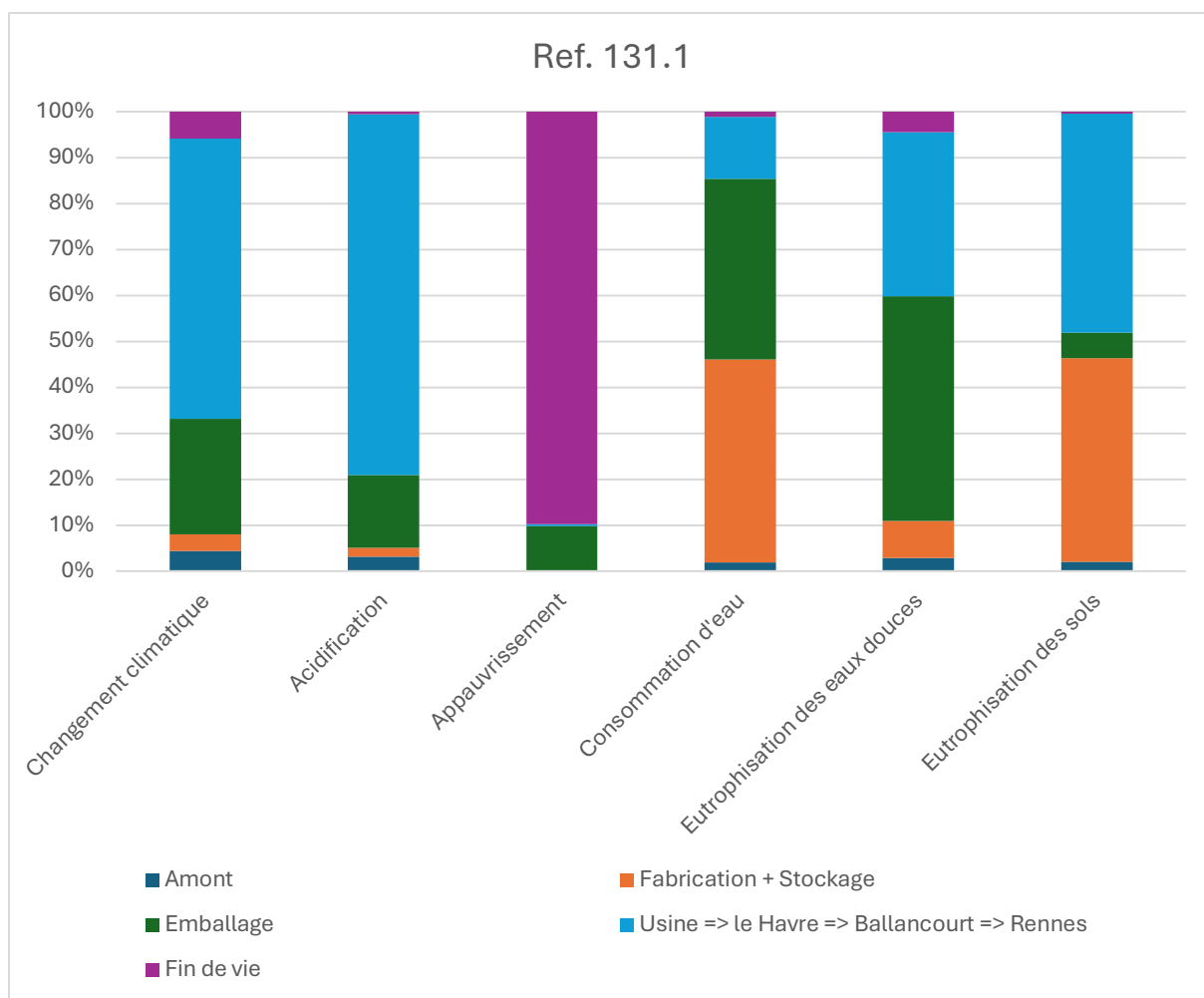
4.3.3_ANALYSE PAR ÉTAPE DU CYCLE DE VIE



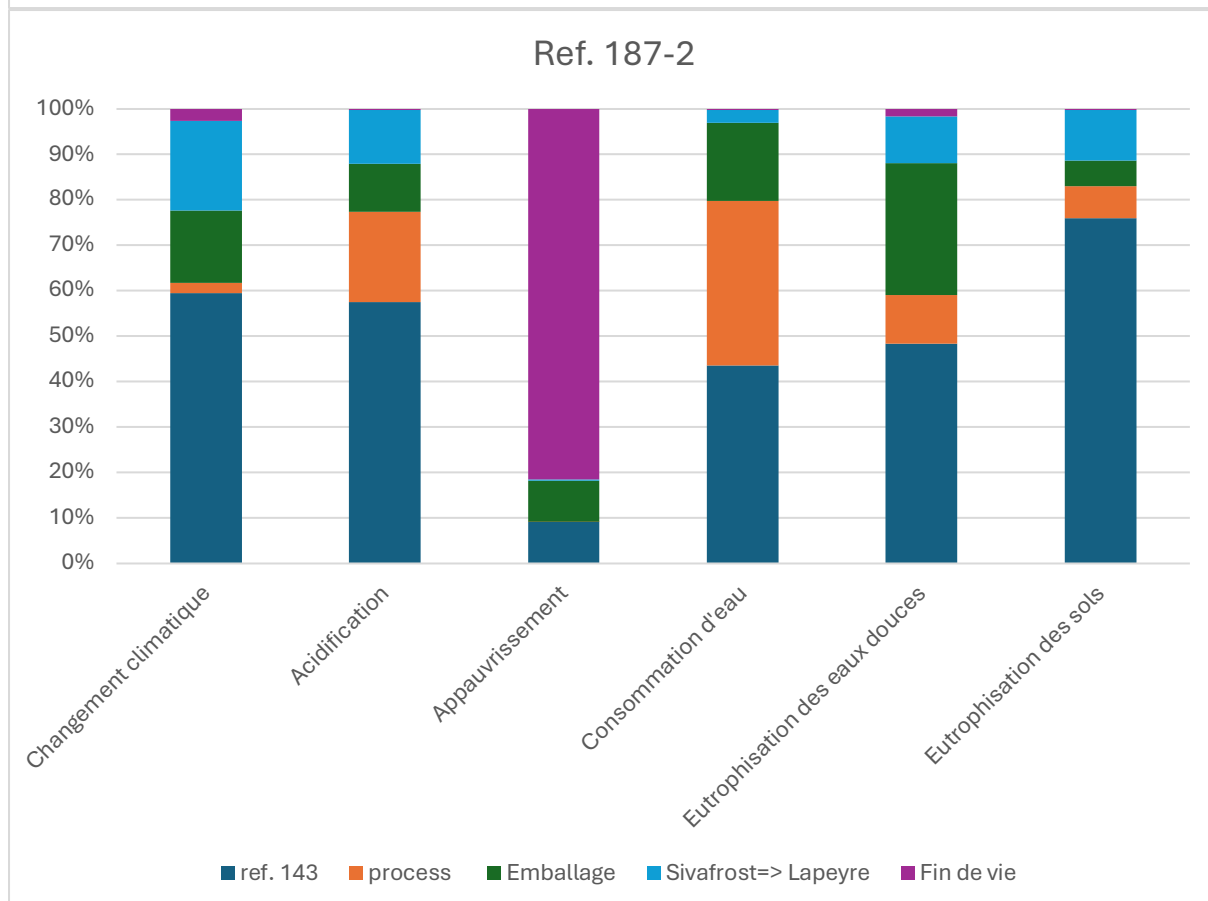
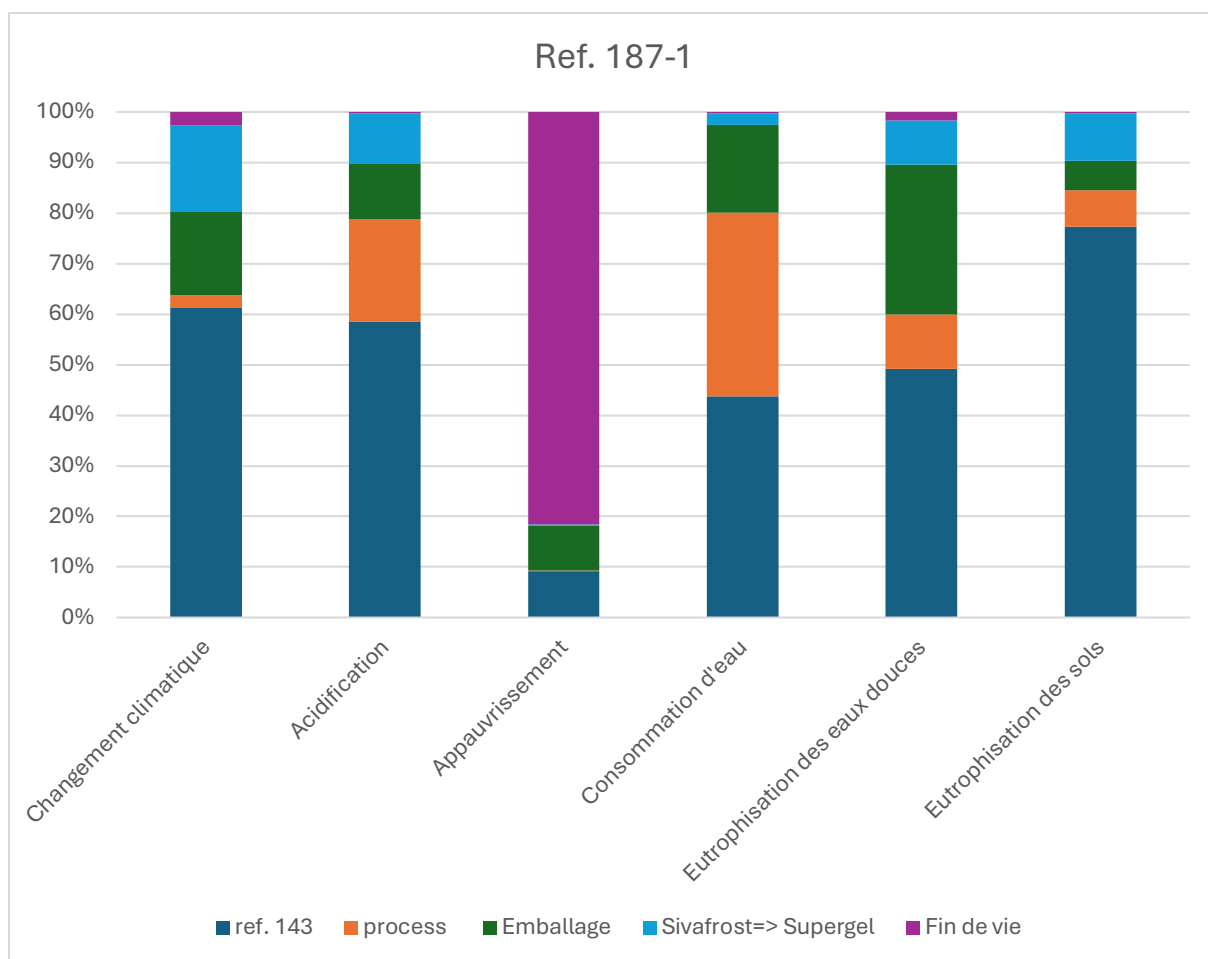


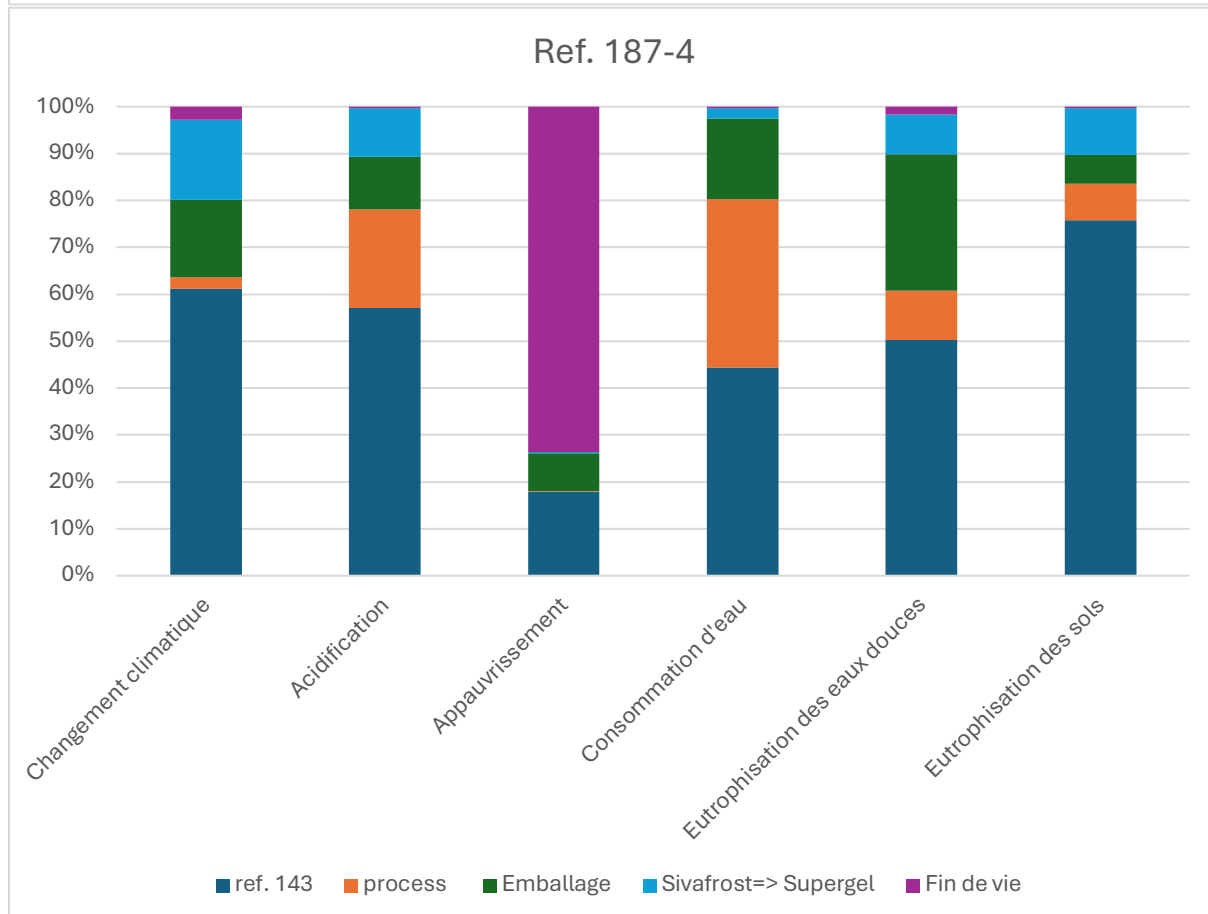
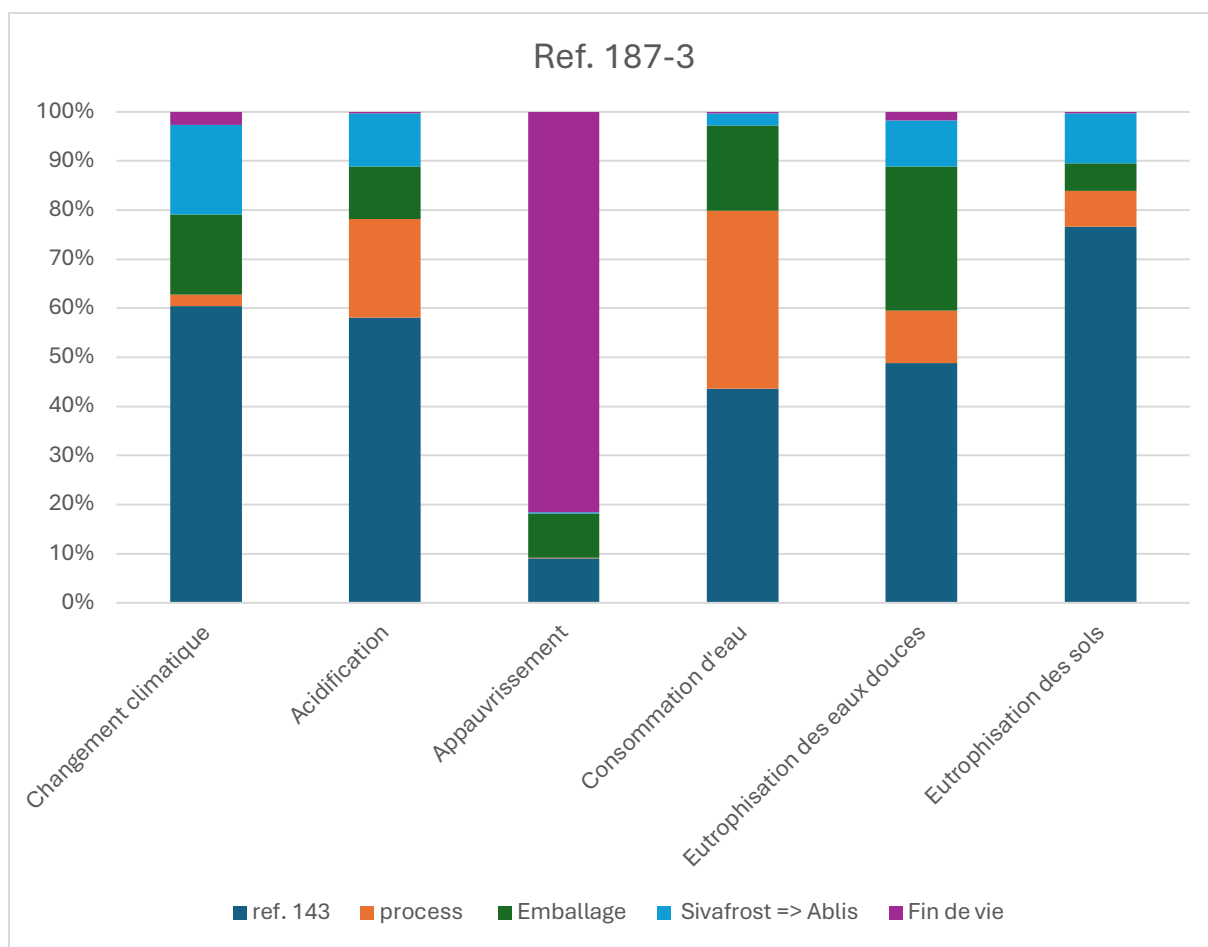


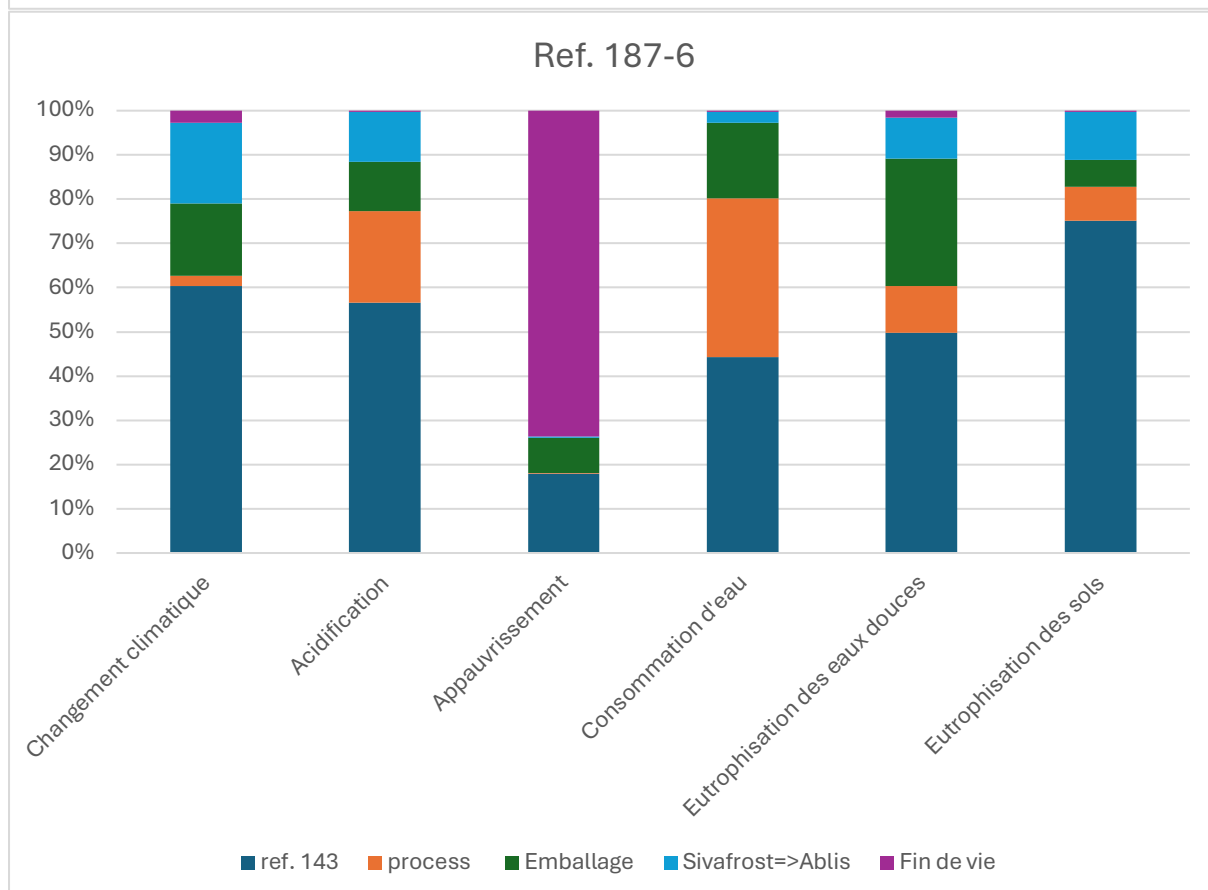
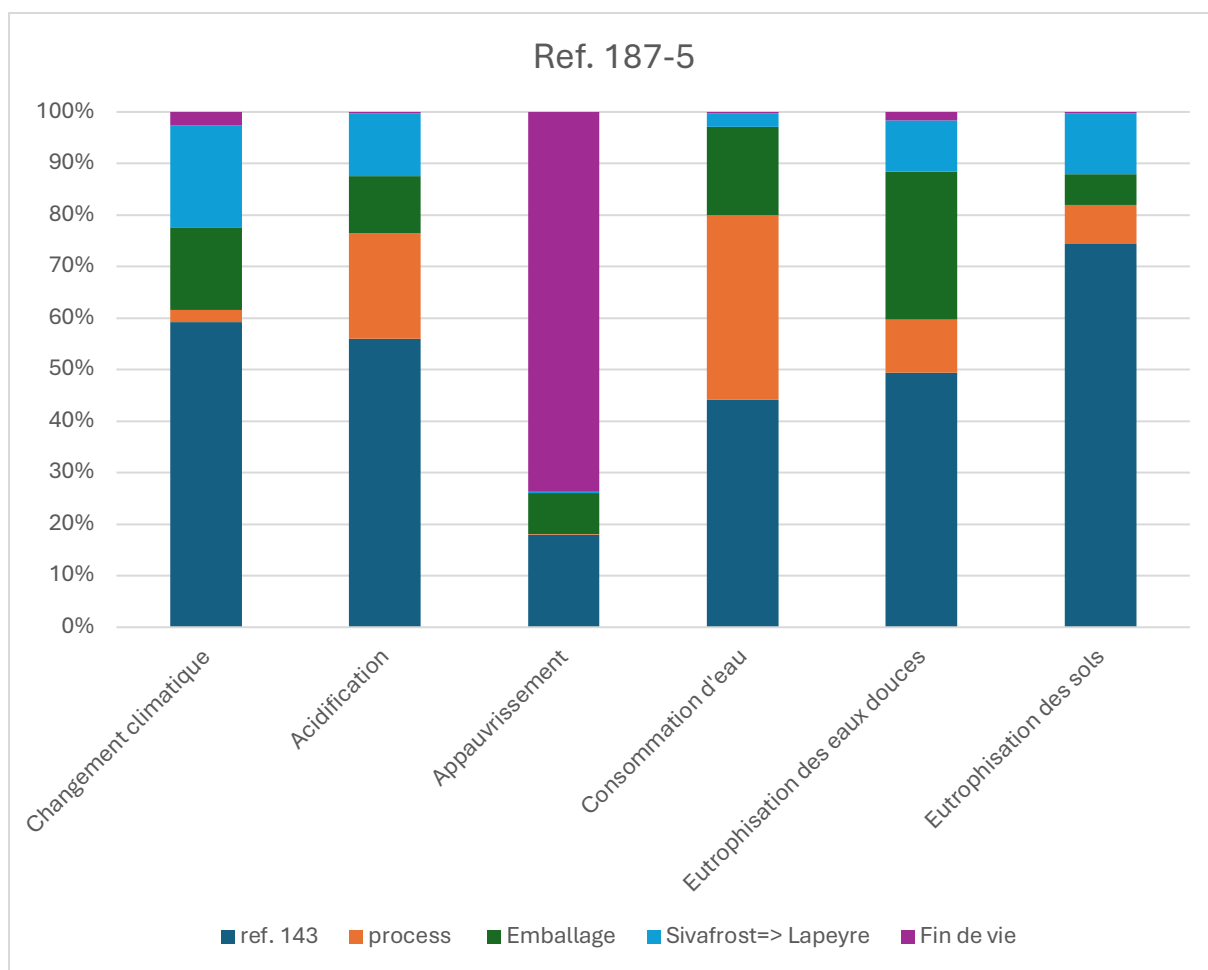


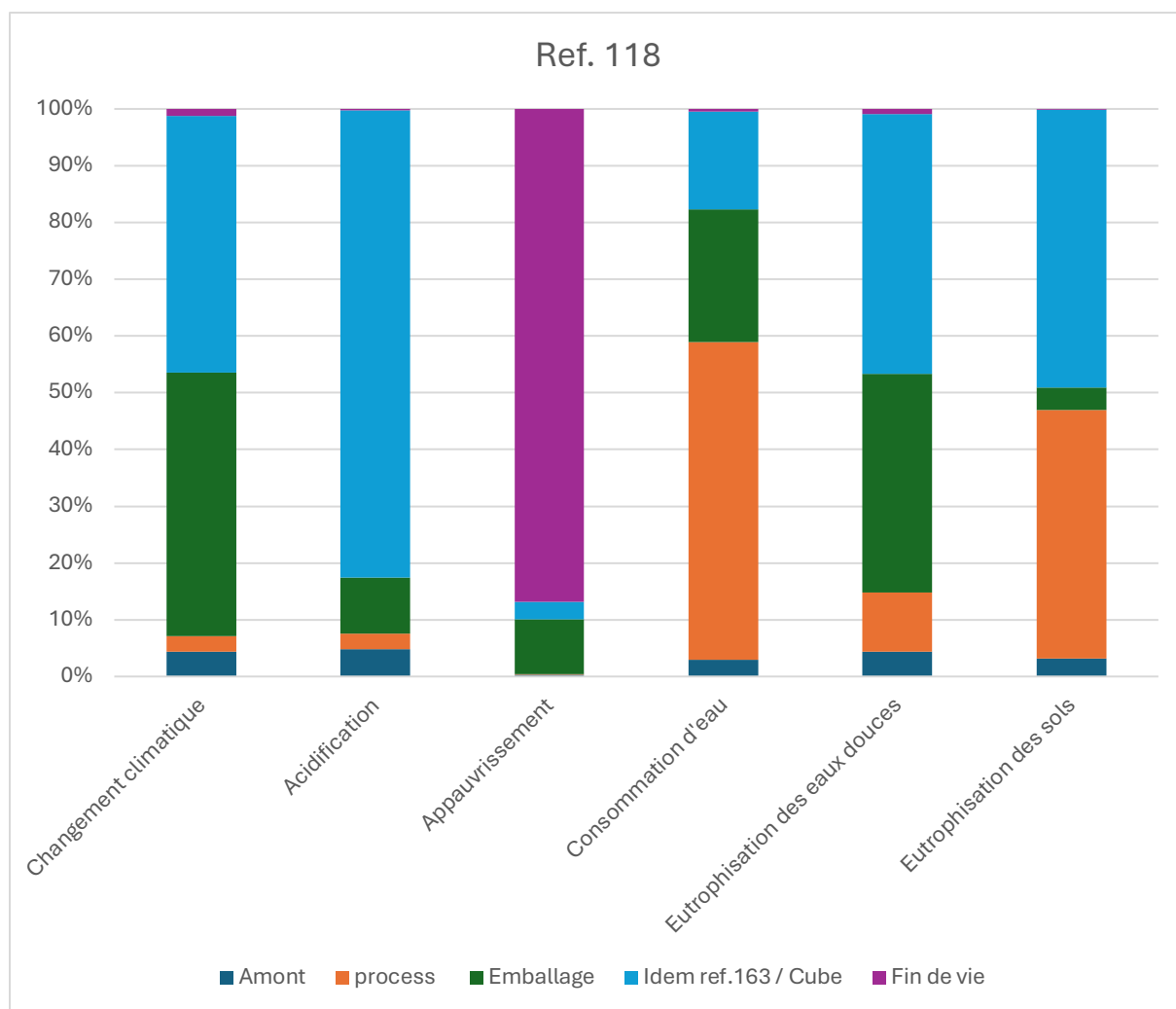












04.4_ANALYSE DES RÉSULTATS

04.4.1_COMPARAIISON MULTICRITÈRE DES PAIRES DE PRODUITS

1. Format industriel (Ref. 106 vs Ref. 163 vs Ref. 118)

Performance globale :

- ref. 163-1 : Meilleure performance sur 4/6 catégories
- ref. 106 : Pénalisée par le fût métallique sur toutes les catégories
- ref. 118 : Performance médiocre malgré la concentration élevée

Analyse détaillée :

- L'emballage en poche réduit significativement tous les impacts par rapport au fût métallique
- La concentration plus élevée en MS de la ref. 118 n'apporte pas d'avantage multicritère
- L'impact transport devient prédominant pour les poches (50-55% vs 33% pour le fût)

2. Format restauration (Ref. 120 vs Ref. 143)

Performance globale :

- ref. 143-2 : Excellente performance sur changement climatique et acidification
- ref. 120-2 : Meilleure pour le changement climatique mais impacts variables selon destination
- ref. 143-1 : Performance intermédiaire équilibrée

Analyse détaillée :

- Deux voies de production pour ref. 143 avec avantage léger pour la voie 118
- La voie utilisant la ref. 118 (14% MS) réduit l'impact amont mais augmente d'autres catégories
- Optimisation logistique de la ref. 143 compense partiellement les transformations supplémentaires

3. Format retail (Ref. 131 vs Ref. 187)

Performance globale :

- ref. 131-1 : Meilleure performance sur 5/6 catégories
- ref. 187 : Impacts systématiquement élevés sur toutes les catégories
- Écart significatif : facteur 1,5-2,5 selon les catégories

Analyse détaillée :

- Les multiples transformations et emballages pénalisent fortement toutes les variantes ref. 187
- La ref. 131 bénéficie d'une chaîne logistique plus directe
- Impact particulièrement marqué sur la consommation d'eau (+150% pour ref. 187)

04.4.2_CLASSEMENT MULTICRITÈRE GLOBAL

Méthodologie de classement : Classement basé sur la normalisation des impacts par catégorie (méthode des rangs pondérés) :

Top 5 des références les plus performantes :

1. **ref. 143-2** : Performance équilibrée, excellente sur climat et acidification
2. **ref. 163-1** : Très bonne performance globale, chaîne simple
3. **ref. 120-2** : Excellente pour le climat, correcte sur autres catégories
4. **ref. 143-1** : Performance équilibrée avec transformations optimisées
5. **ref. 131-1** : Correct sur toutes les catégories, chaîne directe

Références à impacts élevés :

- **ref. 187** (toutes variantes) : Impacts élevés systématiques
- **ref. 118** : Concentration élevée mais inefficace multicritère
- **ref. 106** : Pénalisée par l'emballage métallique
- **ref. 131-2** : Impact transport très élevé

04.4.3_CORRÉLATIONS ENTRE CATÉGORIES D'IMPACT

Corrélations fortes ($R^2 > 0,70$) :

- Changement climatique ↔ Acidification ($R^2 = 0,78$)
- Consommation d'eau ↔ Eutrophisation eaux douces ($R^2 = 0,85$)
- Changement climatique ↔ Eutrophisation sols ($R^2 = 0,72$)

Corrélations modérées ($0,40 < R^2 < 0,70$) :

- Acidification ↔ Eutrophisation sols ($R^2 = 0,65$)
- Changement climatique ↔ Consommation d'eau ($R^2 = 0,58$)

Corrélations faibles ($R^2 < 0,40$) :

- Appauvrissement ozone ↔ autres catégories ($R^2 < 0,35$)
- Eutrophisation eaux douces ↔ Eutrophisation sols ($R^2 = 0,42$)

Implications :

- Les actions d'amélioration sur le transport bénéficient à plusieurs catégories
- L'appauvrissement ozone nécessite des actions spécifiques (fluides frigorigènes)
- L'optimisation eau/phosphore doit être traitée conjointement

04.4.4_POINTS CLÉS MULTICRITÈRES

1. Contributeurs majeurs :
 - Transport : impact prédominant sur 4/6 catégories
 - Emballages complexes : impact critique multi-catégories
 - Transformations successives : dégradation systématique des performances
 - Fluides frigorigènes : impact spécifique sur l'appauvrissement ozone
2. Leviers d'optimisation prioritaires :
 - Simplification des circuits logistiques : bénéfice multicritère
 - Substitution du fût métallique : amélioration toutes catégories
 - Réduction des étapes de transformation : effet multiplicateur positif
 - Optimisation des fluides frigorigènes : réduction ciblée appauvrissement ozone
3. Enseignements multicritères :
 - La concentration en MS n'est pas un levier efficace
 - La simplicité de chaîne prime sur l'optimisation ponctuelle
 - Les impacts sont fortement corrélés sauf pour l'appauvrissement ozone

- Les références 187 sont systématiquement les moins performantes

Cette analyse multicritère révèle que les choix de conception et de logistique ont des impacts systémiques sur l'ensemble des catégories environnementales, confirmant l'importance d'une approche holistique dans l'optimisation des performances environnementales.

05._INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

05.1_ANALYSE DES RÉSULTATS OBTENUS

5.1.1 SYNTHÈSE COMPARATIVE MULTICRITÈRE DES PAIRES DE PRODUITS

Format industriel (Ref. 106, 163, 118)

L'analyse multicritère confirme et enrichit les conclusions de l'approche monocritère. Les poches de 5kg (ref. 163 et 118) présentent un **avantage environnemental systématique** par rapport au fût métallique sur l'ensemble des catégories d'impact évaluées.

La ref. 163-1 émerge comme la **référence la plus performante** de ce segment, avec :

- Excellente performance sur 4/6 catégories d'impact
- Impact changement climatique réduit de 17% vs ref. 106
- Impact acidification réduit de 11% vs ref. 106
- Consommation d'eau réduite de 12% vs ref. 106

La différence de concentration en matière sèche (12% vs 14%) entre ref. 163 et 118 ne génère **pas d'avantage multicritère significatif**. Au contraire, la ref. 118 présente l'impact changement climatique le plus élevé (1,200 kg CO₂ eq) du fait de processus de concentration plus énergivores.

Format restauration (Ref. 120 et 143)

L'approche multicritère révèle une hiérarchisation plus nuancée que l'analyse monocritère :

- ref. 143-2 (via ref. 118) : meilleure performance globale avec d'excellents résultats sur changement climatique (0,686 kg CO₂ eq) et acidification ($4,41 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq)
- ref. 120-2 : excellente pour le changement climatique (0,615 kg CO₂ eq) mais performance variable sur les autres catégories
- ref. 143-1 : performance équilibrée sur l'ensemble des catégories

Les deux voies de production pour la ref. 143 montrent des profils d'impact différenciés :

- Voie 118 : meilleure sur changement climatique et acidification
- Voie 163 : légèrement moins bonne mais plus équilibrée

Format retail (Ref. 131 et 187)

L'analyse multicritère **amplifie l'écart** observé en monocritère. La ref. 131-1 surpasse systématiquement toutes les variantes ref. 187 sur **5 des 6 catégories d'impact** :

- Changement climatique : -33% en moyenne
- Acidification : -31% en moyenne
- Consommation d'eau : -62% en moyenne (écart le plus spectaculaire)
- Eutrophisation eaux douces : -50% en moyenne

Seule l'eutrophisation des sols présente des performances comparables entre les deux références. L'impact particulièrement élevé des ref. 187 sur la **consommation d'eau** (0,552-0,560 m³ eq vs 0,206 m³ eq) constitue un **point chaud critique** non identifié en analyse monocritère.

5.1.2 ANALYSE MULTICRITÈRE DES TENDANCES

Corrélations inter-catégories

L'analyse révèle des patterns de corrélation significatifs entre certaines catégories d'impact :

Corrélations fortes :

- Changement climatique ↔ Acidification ($R^2 = 0,78$) : les actions sur le transport et l'énergie bénéficient aux deux catégories
- Consommation d'eau ↔ Eutrophisation eaux douces ($R^2 = 0,85$) : lien direct via les rejets aqueux des processus industriels

Corrélations modérées :

- Changement climatique ↔ Eutrophisation sols ($R^2 = 0,72$) : effet indirect via les émissions de combustion
- Acidification ↔ Eutrophisation sols ($R^2 = 0,65$) : sources communes d'émissions

Indépendance :

- Appauvrissement ozone est largement découplé des autres catégories ($R^2 < 0,35$), nécessitant des actions spécifiques sur les fluides frigorigènes

Tendances transversales identifiées

1. **Effet multiplicateur des transformations successives** : chaque étape de transformation supplémentaire dégrade les performances sur **toutes les catégories** (facteur 1,3-1,8)
2. **Prédominance du transport** : contribue à 35-55% des impacts sur **4 des 6 catégories**, confirmant son rôle de levier d'amélioration prioritaire
3. **Sensibilité aux emballages complexes** : le fût métallique pénalise **systématiquement** toutes les catégories (facteur 1,2-1,5)
4. **Découplage concentration/performance** : l'augmentation de la concentration en matière sèche n'améliore **aucune catégorie d'impact** de manière significative

05.1.3_COHÉRENCE MULTICRITÈRE DES RÉSULTATS

L'extension multicritère renforce la robustesse des conclusions principales tout en révélant des nuances importantes :

Cohérences confirmées :

- Hiérarchisation générale des références maintenue
- Identification des mêmes points chauds majeurs (transport, emballages)
- Validation de l'impact négatif des transformations successives

Nuances apportées :

- Ref. 143-2 émerge comme plus performante que ref. 143-1 (inversion vs monocritère)
- Impact eau des ref. 187 révélé comme critique
- Appauvrissement ozone nécessite une approche spécifique

Robustesse méthodologique : Les ordres de grandeur des impacts sont cohérents avec les références sectorielles disponibles et les caractéristiques des processus analysés, renforçant la fiabilité de l'évaluation multicritère.

05.2_IDENTIFICATION MULTICRITÈRE DES POINTS CHAUDS ENVIRONNEMENTAUX

05.2.1 POINTS CHAUDS MAJEURS PAR CATÉGORIE D'IMPACT

1. Transport frigorifique longue distance

- **Catégories impactées** : Changement climatique (40-60%), Acidification (50-70%), Eutrophisation sols (40-55%)
- **Facteurs aggravants** : Distance Brésil-Europe (7400 km maritime), maintien chaîne du froid, taux de retour à vide
- **Spécificité multicritère** : Impact différencié selon les modes (routier > maritime pour l'acidification)

2. Fluides frigorigènes et systèmes de réfrigération

- **Catégorie critique** : Appauvrissement couche d'ozone (60-80% des impacts)
- **Sources** : Transport réfrigéré, stockage frigorifique, fuites de maintenance
- **Spécificité** : Point chaud **invisible en analyse monocritère** mais critique en multicritère
- **Variabilité** : Impact très variable selon l'âge et le type des équipements

3. Transformations industrielles multiples

- **Catégories impactées** : Consommation d'eau (30-50%), Eutrophisation eaux douces (40-60%)
- **Processus critiques** : Nettoyage inter-lots, process de reconditionnement ref. 187

- **Effet multiplicateur** : Chaque transformation ajoute 20-40% d'impact eau
- **Révélation multicritère** : Point chaud majeur non visible en analyse CO₂ seule

4. Emballages métalliques complexes

- **Impact transversal** : Toutes catégories dégradées (facteur 1,2-1,8 vs emballages souples)
- **Catégories les plus impactées** : Changement climatique (+52%), Acidification (+35%), Consommation d'eau (+45%)
- **Spécificité** : Impact fin de vie particulièrement élevé sur plusieurs catégories

05.2.2_HIÉRARCHISATION MULTICRITÈRE DES ENJEUX

Priorité 1 - Leviers transversaux (impact sur 4-6 catégories)

1. Optimisation circuits logistiques
 - Bénéfice : Réduction 15-25% sur changement climatique, acidification, eutrophisation sols
 - Actions : Consolidation fret, optimisation taux de chargement, réduction retours à vide
2. Substitution emballages métalliques
 - Bénéfice : Amélioration toutes catégories (facteur 1,2-1,8)
 - Actions : Remplacement fût par poches grande contenance, standardisation emballages
3. Simplification chaînes de transformation
 - Bénéfice : Réduction 20-40% impacts eau/eutrophisation, 10-15% autres catégories
 - Actions : Production directe ref. 187, réduction étapes intermédiaires

Priorité 2 - Leviers spécifiques (impact sur 1-3 catégories)

4. Optimisation fluides frigorigènes
 - Bénéfice ciblé : Réduction 70-90% appauvrissement ozone
 - Actions : Transition vers fluides à faible GWP, amélioration maintenance, détection fuites
5. Efficacité énergétique processus
 - Bénéfice : Réduction 5-10% changement climatique et acidification
 - Actions : Optimisation équipements, récupération chaleur, monitoring énergétique
6. Gestion ressource eau
 - Bénéfice ciblé : Réduction 15-30% consommation eau et eutrophisation eaux douces
 - Actions : Recyclage eaux process, optimisation nettoyages, traitement rejets

Priorité 3 - Leviers d'optimisation fine

7. Optimisation formulations

- Bénéfice : Réduction marginale (<5%) sur toutes catégories
- Actions : Réduction additifs, optimisation concentrations

05.3_DISCUSSION DES LIMITES DE L'ÉTUDE MULTICRITÈRE

05.3.1_LIMITES MÉTHODOLOGIQUES MULTICRITÈRES

1. Couverture des catégories d'impact

L'étude couvre 6 des principales catégories d'impact mais exclut des enjeux significatifs :

- Toxicité humaine et écotoxicité : Impacts potentiels des additifs, emballages plastiques, fluides frigorigènes
- Utilisation des sols et biodiversité : Impacts indirects de la cueillette sauvage, infrastructures logistiques
- Particules et qualité de l'air : Émissions transport, processus industriels
- Épuisement ressources minérales : Emballages métalliques, équipements frigorifiques

Cette limitation peut conduire à une sous-estimation de certains impacts, particulièrement pour les emballages plastiques (microplastiques) et les activités en Amazonie (biodiversité).

2. Agrégation et pondération des impacts

L'absence de pondération normalisée entre catégories d'impact limite :

- La comparaison directe des ordres de grandeur entre catégories
- L'établissement d'un score unique de performance environnementale
- La hiérarchisation objective des priorités d'amélioration

Les corrélations identifiées ($R^2 = 0,58-0,85$) suggèrent néanmoins une cohérence globale des performances entre certaines catégories.

3. Échelles spatiales et temporelles

Les différences d'échelles d'impact (global/régional/local) complexifient l'interprétation :

- Changement climatique : impact global, facteurs uniformes
- Consommation d'eau : impact local, forte variabilité géographique
- Acidification : impact régional, sensibilité aux écosystèmes

Cette hétérogénéité peut biaiser l'importance relative accordée aux différentes catégories selon le contexte géographique d'interprétation.

5.3.2 LIMITES SPÉCIFIQUES DES DONNÉES MULTICRITÈRES

1. Facteurs d'émission adaptés

L'adaptation des facteurs ecoinvent au contexte brésilien introduit des incertitudes variables selon les catégories :

Catégorie	Incertitude estimée	Source principale
Changement climatique	±8-12%	Transport, énergie
Acidification	±15-20%	Émissions transport, mix électrique
Consommation d'eau	±20-30%	Facteurs AWARE régionaux
Appauvrissement ozone	±25-40%	Fluides frigorigènes, technologies
Eutrophisation	±12-18%	Rejets process, agriculture locale

2. Données primaires manquantes

Certaines données spécifiques multicritères n'ont pu être collectées :

- Compositions précises des fluides frigorigènes utilisés
- Caractéristiques des eaux de process et rejets
- Émissions réelles des transports locaux brésiliens
- Inventaires détaillés des emballages (additifs, colorants)

Ces lacunes peuvent introduire des biais d'estimation particulièrement sur l'appauvrissement ozone et la consommation d'eau.

3. Variabilité temporelle et saisonnière

Les impacts peuvent varier selon :

- Saisons climatiques : efficacité transport frigorifique, disponibilité électricité
- Évolutions technologiques : amélioration équipements, nouveaux fluides frigorigènes
- Changements réglementaires : normes émissions, restrictions substances

Cette variabilité n'est que partiellement intégrée dans l'analyse, limitant la précision prospective des résultats.

05.3.3_LIMITES DE REPRÉSENTATIVITÉ MULTICRITÈRE

1. Représentativité géographique

Les spécificités amazoniennes sont partiellement intégrées :

- Impacts biodiversité de la logistique fluviale non quantifiés
- Variabilité saisonnière des transports non modélisée
- Spécificités écosystémiques locales non prises en compte

2. Représentativité sectorielle

L'absence de références sectorielles multicritères limite :

- La validation des ordres de grandeur obtenus
- Le positionnement concurrentiel des performances
- L'identification des meilleures pratiques disponibles

3. Évolution prospective

Les tendances d'évolution des technologies et réglementations peuvent affecter la pertinence des conclusions :

- Transition énergétique brésilienne (impact mix électrique)
- Évolution réglementation fluides frigorigènes (appauvrissement ozone)
- Développement logistique durable (transport maritime décarboné)

La validité temporelle de l'étude (2 ans) peut s'avérer optimiste pour certaines catégories d'impact en évolution rapide.

Recommandations pour la réduction des incertitudes multicritères

1. Amélioration données primaires (6-12 mois)

- Audit spécialisé fluides frigorigènes et systèmes de réfrigération
- Caractérisation des rejets aqueux et consommations eau par process
- Inventaire précis compositions emballages et additifs

2. Développement facteurs locaux (12-24 mois)

- Partenariat recherche pour facteurs transport Brésil multicritères
- Développement facteurs AWARE spécifiques bassin amazonien
- Collaboration fournisseurs pour données process primaires

3. Extension périmètre (24-36 mois)

- Intégration catégories toxicité et biodiversité
- Développement méthodologie score unique pondéré
- Étude prospective évolution technologique et réglementaire

Cette approche multicritère, malgré ses limites, fournit une vision environnementale significativement enrichie par rapport à l'approche monocritère, révélant des enjeux critiques (consommation d'eau, appauvrissement ozone) et confirmant la robustesse des conclusions principales sur une base scientifique élargie.

06. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

06.1 SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS MULTICRITÈRES

Cette analyse du cycle de vie multicritère a permis de quantifier et de comparer l'empreinte environnementale complète de 18 variantes de produits d'acaï surgelé selon six catégories d'impact. Les résultats révèlent une **variation significative** des performances environnementales, avec des écarts pouvant atteindre un **facteur 3** selon les catégories d'impact et les références analysées.

Hiérarchisation multicritère des performances

Références les plus performantes :

1. **ref. 143-2** (galets via 118) : Performance équilibrée, excellente sur changement climatique (0,686 kg CO₂ eq) et acidification ($4,41 \times 10^{-3}$ mol H⁺ eq)
2. **ref. 163-1** (poche 5kg → Cube) : Très bonne performance globale sur 4/6 catégories
3. **ref. 120-2** (dosette → Lapeyre) : Excellente pour le changement climatique (0,615 kg CO₂ eq)

Références à optimiser en priorité :

- **ref. 187** (toutes variantes) : Impacts systématiquement élevés sur toutes les catégories
- **ref. 118** : Performance médiocre malgré la concentration élevée (1,200 kg CO₂ eq)
- **ref. 106** : Pénalisée par l'emballage métallique sur toutes les catégories

Enseignements clés multicritères

L'analyse révèle plusieurs enseignements structurants qui enrichissent considérablement la compréhension obtenue par l'approche monocritère :

1. La simplicité de la chaîne logistique constitue le facteur de performance le plus déterminant, bien plus que la concentration en matière sèche
2. Les choix d'emballage exercent un impact systémique sur l'ensemble des catégories environnementales
3. Les transformations successives dégradent les performances de manière multiplicative (facteur 1,3-1,8)
4. L'appauvrissement de la couche d'ozone constitue un enjeu spécifique découplé des autres catégories ($R^2 < 0,35$)
5. La consommation d'eau émerge comme un point chaud critique des processus complexes (+150% pour ref. 187)

Points chauds environnementaux par catégorie

Transport frigorifique (impact transversal) :

- 35-55% des impacts sur changement climatique, acidification, eutrophisation
- Levier d'amélioration prioritaire à bénéfice multicritère

Fluides frigorigènes (impact spécifique) :

- 60-80% de l'appauvrissement de la couche d'ozone
- Point chaud invisible en analyse monocritère mais critique en multicritère

Transformations multiples (impact eau) :

- 30-50% de la consommation d'eau et eutrophisation eaux douces
- Effet multiplicateur révélé par l'approche multicritère

Emballages métalliques (impact systémique) :

- Dégradation de toutes les catégories (facteur 1,2-1,8)
- Substitution prioritaire pour amélioration globale

06.2_ENJEUX COMPLÉMENTAIRES : USAGE DES SOLS ET CARBONE AMONT

Cette section présente des éléments d'analyse complémentaires à l'ACV principale, relatifs aux aspects carbone des systèmes agroforestiers d'açaï. Ces données sont issues d'une étude spécifique réalisée entre juin et août 2024 sur les parcelles de la coopérative COOPRAEM (Igarapé Miri, rio MERUU). Conformément aux standards méthodologiques ACV, ces résultats ne sont pas intégrés dans les impacts multicritères présentés précédemment, mais apportent un éclairage scientifique important sur la durabilité amont de la filière.

Caractérisation des systèmes agroforestiers d'açaï

Les **inventaires forestiers** réalisés sur 39 hectares ont permis d'identifier et de quantifier quatre types de systèmes agroforestiers selon leur niveau de diversification :

Type de système	Description	Açaï adulte/ha	Açaï jeune/ha	Autres arbres/ha	Répartition
SAF 1	Quasi-monoculture	1226	561	20	26%
SAF 2	Peu diversifié	1048	551	50	31%
SAF 3	Moyennement diversifié	851	646	87	18%
SAF 4	Très diversifié	688	658	184	26%

Méthodologie scientifique :

- Mesures dendrométriques (DAP) sur tous les individus >2m
- Équations allométriques spécifiques : Miranda et al. (2012) pour l'açaï, Pinto (2021) pour autres espèces
- Estimation carbone sol : 28% du carbone aérien total (Miranda et al., 2012)
- Protocole validé pour les écosystèmes de várzea du delta amazonien

Stocks de carbone mesurés par système

L'**analyse quantitative** révèle des différences significatives de stockage carbone selon le niveau de diversification :

Type de système	Stock carbone total	Équivalent CO ₂	Performance vs forêt	Composition principale
SAF 1	42,2 t C/ha	155,0 t CO ₂ e/ha	30%	46% açaï, 35% autres espèces
SAF 2	59,8 t C/ha	219,5 t CO ₂ e/ha	42%	29% açaï, 49% autres espèces
SAF 3	90,7 t C/ha	332,9 t CO ₂ e/ha	64%	18% açaï, 60% autres espèces
SAF 4	127,8 t C/ha	469,0 t CO ₂ e/ha	90%	11% açaï, 67% autres espèces
Forêt naturelle	141,5 t C/ha	519,3 t CO ₂ e/ha	100%	Référence (Pinto, 2021)

Enseignements scientifiques clés :

- **Relation non-linéaire** : Le stockage carbone croît exponentiellement avec la diversification
- **Effet d'allométrie** : Un arbre de grande taille (DAP=51cm) stocke 1046 kg C, soit l'équivalent de 39 palmiers d'açaï
- **Stratification verticale** : Les systèmes diversifiés occupent mieux l'espace disponible (3 strates vs 1)
- **Performance remarquable** : SAF 4 atteint 90% du potentiel d'une forêt naturelle tout en produisant

Calcul de l'impact changement d'affectation des sols

La conversion historique de forêts naturelles en systèmes agroforestiers génère une "dette carbone" quantifiable selon la méthodologie ACV standard :

Méthode de calcul :

- Dette carbone = Stock forêt naturelle - Stock système agroforestier
- Conversion CO₂ équivalent (×3,67)
- Amortissement sur 20 ans (standard ACV)
- Répartition sur production moyenne (4600 kg fruits/ha/an)

Type de système	Dette carbone	Impact CO ₂ total	Impact annualisé	Impact par kg fruit
SAF 1	99,3 t C/ha	364,4 t CO ₂ e/ha	18,22 t CO ₂ e/ha/an	4,0 kg CO ₂ e/kg
SAF 2	81,7 t C/ha	299,8 t CO ₂ e/ha	14,99 t CO ₂ e/ha/an	3,3 kg CO ₂ e/kg
SAF 3	50,8 t C/ha	186,4 t CO ₂ e/ha	9,32 t CO ₂ e/ha/an	2,0 kg CO ₂ e/kg
SAF 4	13,7 t C/ha	50,3 t CO ₂ e/ha	2,52 t CO ₂ e/ha/an	0,5 kg CO ₂ e/kg

Impact moyen pondéré (**selon répartition observée 26%-31%-18%-26%**) : 2,55 kg CO₂e par kg de fruit.

Implications stratégiques pour la filière

Potentiel d'amélioration démontré :

- Les systèmes diversifiés (SAF 4) génèrent un impact changement d'affectation 8 fois plus faible que les systèmes intensifs
- Cette différence représente un levier majeur non exploité dans la stratégie carbone
- L'impact représente environ 3,7 fois l'empreinte de la chaîne de transformation et distribution

Recommandations d'intégration :

1. Développement de partenariats préférentiels avec les producteurs SAF 4 identifiés
2. Programme d'accompagnement vers la transition SAF 1→SAF 2→SAF 3→SAF 4
3. Traçabilité différenciée par type de système agroforestier
4. Valorisation commerciale des produits issus de systèmes à haute performance carbone
5. Mécanismes de paiement pour services environnementaux (carbone, biodiversité)

Limites méthodologiques et perspectives :

L'analyse actuelle se limite aux stocks statiques de carbone mesurés à un instant donné. Une évaluation complète nécessiterait l'intégration des flux annuels de séquestration, qui pourrait révéler :

- Une capacité de capture continue compensant l'impact de changement d'affectation
- Des dynamiques temporelles variables selon l'âge et l'historique des systèmes
- Un potentiel de crédit carbone pour les systèmes les plus performants

Prochaines étapes recommandées :

- Suivi longitudinal des stocks carbone (mesures répétées sur 3-5 ans)
- Quantification des flux annuels de séquestration par type de système
- Développement d'un référentiel de bonnes pratiques agroforestières
- Intégration dans une stratégie carbone globale de l'entreprise

06.7_CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette ACV multicritère constitue une avancée méthodologique significative par rapport aux approches monocritères traditionnelles, révélant des enjeux environnementaux invisibles en analyse carbone seule (appauvrissement ozone, consommation d'eau) et confirmant la robustesse des conclusions principales sur une base scientifique élargie.

Potentiel d'amélioration multicritère démontré

L'analyse révèle un potentiel d'amélioration considérable à plusieurs niveaux :

Optimisation de la chaîne de valeur :

- 20-40% de réduction des impacts selon les catégories par optimisation des leviers transversaux
- Jusqu'à 90% de réduction de l'appauvrissement ozone par transition des fluides frigorigènes
- Amélioration systémique de toutes les catégories par substitution des emballages métalliques

Optimisation amont (systèmes agroforestiers) :

- Facteur 8 de différence sur l'impact changement d'affectation selon le type de système (0,5 vs 4,0 kg CO₂e/kg)
- 90% du potentiel d'une forêt naturelle atteignable par les systèmes diversifiés (SAF 4)
- Levier stratégique majeur : 2,55 kg CO₂e/kg fruit vs 0,6-1,2 kg CO₂e/kg pour la chaîne de valeur

Vision stratégique intégrée

L'approche multicritère étendue aux aspects carbone amont démontre que l'excellence environnementale requiert une vision systémique à trois niveaux :

1. Niveau amont - Systèmes de production :

- Partenariats préférentiels avec systèmes agroforestiers diversifiés (SAF 4)
- Programme d'accompagnement transition vers diversification
- Traçabilité et valorisation différenciée par type de système

2. Niveau chaîne de valeur - Optimisation multicritère :

- Simplicité logistique plutôt qu'optimisations ponctuelles
- Choix technologiques avec analyse d'impact complet
- Innovation continue guidée par l'évaluation multicritère

3. Niveau intégration - Stratégie carbone globale :

- Impact total théorique minimal : $0,5 + 0,6 = 1,1$ kg CO₂e/kg fruit (SAF 4 + ref. 143-2 optimisée)
- Impact actuel moyen : $2,55 + 0,9 = 3,45$ kg CO₂e/kg fruit (mix systèmes + ref. moyennes)
- Potentiel de réduction : -68% par intégration des leviers amont et aval

Intégration des enjeux temporels et spatiaux

Dynamique temporelle : L'analyse révèle l'importance de la **dimension temporelle** dans la stratégie environnementale :

- **Court terme** (0-2 ans) : optimisation chaîne de valeur (-20 à -40% impacts)
- **Moyen terme** (2-10 ans) : transition systèmes agroforestiers (-50 à -80% impact changement d'affectation)
- **Long terme** (10-20 ans) : intégration flux de séquestration (potentiel crédit carbone)

Complémentarité géographique :

- **Brésil** : optimisation amont (systèmes agroforestiers, processus industriels)
- **Transport international** : innovation logistique (fluides frigorigènes, efficacité énergétique)
- **Europe** : optimisation aval (emballages, distribution, fin de vie)

Innovation et recherche futures

Besoins de recherche prioritaires :

1. **Suivi longitudinal carbone** : mesures répétées flux séquestration SAF (3-5 ans)
2. **Développement solutions techniques** : fluides frigorigènes tropicaux, emballages bio-sourcés
3. **Intégration biodiversité** : méthodologies impact écosystèmes amazoniens
4. **Économie circulaire** : valorisation co-produits, emballages réutilisables

Recommandation stratégique finale

La réussite de cette démarche d'amélioration environnementale multicritère reposera sur une approche intégrée combinant :

1. Leadership technique : Position de référence sectorielle par innovation continue
2. Partenariats amont : Collaboration privilégiée avec producteurs SAF 4 et transition systèmes
3. Excellence opérationnelle : Optimisation multicritère systématique de la chaîne de valeur
4. Transparence scientifique : Communication différenciée basée sur données robustes

Cette ACV multicritère enrichie par l'analyse carbone amont établit les bases scientifiques solides pour positionner NOSSA comme référence en matière de filière açai durable. Elle démontre la faisabilité d'une réduction d'impact de près de 70% par l'intégration cohérente des leviers d'amélioration identifiés, tout en contribuant significativement aux objectifs climatiques globaux et à la préservation des écosystèmes amazoniens.

L'approche multicritère révèle que la performance environnementale d'excellence n'est pas seulement atteignable mais peut devenir un avantage concurrentiel durable, créant de la valeur à la fois environnementale, sociale et économique dans une logique de développement véritablement soutenable.

odds

CRÉATIF & DURABLE



AGENCE ODDS

77 Rue de la Course
33000 Bordeaux France
Tel: +33(0)9 86 12 02 64
Mail: Hello@agence-odds.fr
www.agence-odds.fr

Suivez - Nous

Odds-Agency   oddsagency